

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADHEMAR ROMERO

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM GALERIAS
DE DRENAGEM UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

CURITIBA

2018

ADHEMAR ROMERO

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM GALERIAS
DE DRENAGEM UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, setor de tecnologia, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Professor José J. Ota

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

R763d Romero, Adhemar
Determinação do limite de deposição de sedimentos em galerias de drenagem utilizando redes neurais artificiais [Recurso eletrônico] / Adhemar Romero – Curitiba, 2018.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2018.

Orientador: José Junji Ota

1. Transporte de sedimentos. 2. Águas pluviais. 3. Redes neurais artificiais. I. Universidade Federal do Paraná. II. Ota, José Junji. III. Título.

CDD: 628.21

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

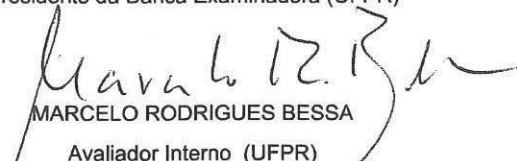
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ADHEMAR ROMERO** intitulada: **Determinação do limite de deposição de sedimentos em galerias de drenagem utilizando redes neurais artificiais**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 18 de Junho de 2018.



JOSÉ JUNJI OTA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


MARCELO RODRIGUES BESSA
Avaliador Interno (UFPR)


ELOY KAVISKI

Avaliador Interno (UFPR)


LUCIENE PIMENTEL DA SILVA
Avaliador Externo (UERJ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais, Ademar Romero e Maria Valdete Marko Romero, que sempre me apoiaram, me incentivaram e me deram forças para estar onde estou hoje.

Agradeço ao meu professor, orientador e eterno exemplo de pessoa, José J. Ota, pela paciência e pelos ensinamentos durante o todo o curso de mestrado.

À minha namorada Cinthia Eliane Nawcki pela compreensão, carinho, afeto e por muitas vezes ser meu porto seguro em momentos turbulentos.

Agradeço especialmente ao meu amigo Alyson Augusto Vivan, o qual admiro muito e que sempre esteve ao meu lado durante toda essa jornada, dando os melhores conselhos que poderia receber.

Ao meu amigo e entusiasta Pedro Lindstron Wittica Cerqueira, pelos incentivos e inspirações.

Agradeço também os inúmeros amigos os quais exaustivamente ouviram “não, preciso estudar” como resposta, mas que sempre estiveram ao meu lado nessa caminhada.

À Potamos engenharia em recursos hídricos e a RDR Consultores associados.

*“There is a driving force more powerful than steam,
electricity and atomic energy: The Will”*

Einstein, A.

RESUMO

As galerias de drenagem urbana são estruturas pertencentes às redes de microdrenagem nos centros urbanos, destinadas ao direcionamento das águas provenientes do escoamento superficial. Corriqueiramente essas estruturas necessitam de desobstrução de sedimentos depositados. Para minimizar os custos com manutenção dessas estruturas, diversas equações são propostas para determinar as características geométricas e condições de escoamento de forma que as tornem autolimpantes. A presente dissertação apresenta um método para determinar o limite de deposição de sedimentos em galerias de águas pluviais através da utilização de inteligência artificial. Primeiramente são apresentadas as aplicações e rotinas para emprego de redes neurais artificiais no mapeamento de problemas matemáticos. Com a finalidade de conhecer as limitações deste modelo optou-se inicialmente por treinar as redes neurais artificiais para a reprodução da equação de Manning, avaliando-as em interpolações e extrapolações do conjunto de treinamento. Após isso, aplicou-se o método para a determinação do limite de deposição de sedimentos em galerias de águas pluviais, avaliando a resposta da rede utilizando dois conjuntos de treinamento diferentes. O primeiro contendo metade dos dados experimentais disponíveis na literatura, obtidos em tubos de até 450 mm de diâmetro, e o segundo contendo 75% dos mesmos dados experimentais. Conclui-se que as redes neurais artificiais não podem ser extrapoladas após treinadas, devido às incertezas associadas a confiabilidade dos dados da extrapolação de um fenômeno físico desconhecido. Entretanto, para o reconhecimento do comportamento do transporte de sedimentos em interpolações dos dados utilizados observou-se uma ótima aderência aos dados experimentais, obtendo coeficientes de determinação (R^2) da ordem de 0,999 para grande parte das arquiteturas avaliadas. Em relação ao limite de deposição de sedimentos em galerias de águas pluviais, as equações de regressão existentes são comparadas com o resultado apresentado pela rede neural e propõe-se uma equação ajustada na tendência apresentada pela rede para a determinação do limite de deposição para extrapolações. Com base nos resultados dessa equação indica-se a equação de Ota (1999) para a determinação do limite de deposição para extrapolações do limite de deposição.

Palavras-chave: Transporte de sedimentos. Limite de deposição. Redes neurais artificiais.

ABSTRACT

Storm water sewers are structures that belong to the drainage network of the cities, which have the function to direct the water of the superficial flow. Commonly these structures need clearing from the deposited sediments. To minimize the costs with maintenance of the sewers, various equations are proposed to determine the geometric characteristics and flow conditions in these structures that provide self-cleansing conditions. This dissertation presents one methodology to determine the limit of deposition of sediments in storm water sewers through the use of artificial intelligence. First are introduced the applications and routines for the employment of an artificial neural network in the mapping of mathematical problems. With the objective of know the limitations of this model, it was decided initially to train the artificial neural networks for the reproduction of the Manning equation, evaluating the interpolations and extrapolations of the training data set. After that, the artificial neural networks were applied for the determination of the limit of deposition in storm water sewers, evaluating the obtained values using two different training data sets. The first training data set contains half of experiments available in the literature, which was conducted in tubes of 450 mm of maximum diameter. The second training data set contains 75% of the same experiments. Concludes that the artificial neural network could not be extrapolated after their training phase, due to many uncertainties associated with the extrapolated values, it is impossible evaluate the reliability of the answer of an unknown phenomenon. However, for the pattern recognition of the behavior of sediment transport in interpolations of the data, it was observed a good fit of the results provided by the artificial neural network and the experimental data, getting correlation coefficients (R^2) of 0,999 for most part of the architectures analised. In relation of the limit of deposition, the existing equations are compared with the results presented by the artificial neural network and are proposed one equation adjusted with the tendency presented by the artificial neural network in the determination of the limit od deposition for use in extrapolations. Analyzing the equation results, it is indicated the Ota (1999) equation to determine the limit of deposition in extrapolations.

Keywords: Sediment transport. Limit of deposition. Artificial Neural Networks.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - NEURÔNIO ARTIFICIAL	22
FIGURA 2 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO LOGÍSTICA	25
FIGURA 3 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO TANGENTE HIPERBÓLICA	27
FIGURA 4 - ARQUITETURA TÍPICA RNA <i>PERCEPTRON</i> MULTICAMADAS	30
FIGURA 5 – CONEXÕES TÍPICAS DE UMA REDE NEURAL <i>PERCEPTRON</i> MULTICAMADAS	33
FIGURA 6 - ESTABELECIMENTO DA CONDIÇÃO UNIFORME	39
FIGURA 7 – DIAGRAMA DE SHIELDS	44
FIGURA 8 - DIREÇÕES DE ROLAMENTO DO GRÃO	50
FIGURA 9 – SEÇÃO TÍPICA DA SEÇÃO TRANSVERSAL UTILIZADA	61
FIGURA 10 – CONJUNTOS DE TREINAMENTO E SIMULAÇÃO	66
FIGURA 11 – COMPARATIVO ENTRE A VAZÃO OBTIDA PELA RNA 11 E PELA EQUAÇÃO DE MANNING	83
FIGURA 12 – COMPARATIVO ENTRE A VAZÃO OBTIDA PELA RNA 11 E PELA EQUAÇÃO DE MANNING, CONSIDERANDO OS DADOS APRESENTADOS NA TABELA 11	85
FIGURA 13 – PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO CALCULADOS PELA RNA 20 E VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO (44) – CONJUNTO DE TREINAMENTO 01	89
FIGURA 14 – PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO CALCULADOS PELA RNA 20 E VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO (44) – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01	90
FIGURA 15 – TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO OBTIDOS PELA RNA 4 E VALORES CALCULADOS COM A EQUAÇÃO (59) – CONJUNTO DE TREINAMENTO 01	93
FIGURA 16 – TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO OBTIDOS PELA RNA 4 E VALORES CALCULADOS COM A EQUAÇÃO (59) – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01	94
FIGURA 17 – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NO FUNDO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01	96

FIGURA 18 – PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DETERMINADOS PELA RNA 11 E VALORES OBTIDOS EXPERIMENTALEMTE CALCULADOS PELA EQUAÇÃO (44) – CONJUNTO DE TREINAMENTO 02	100
FIGURA 19 – PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO CALCULADOS PELA RNA 11 E VALORES OBTIDOS EXPERIMENTALEMTE CALCULADOS PELA EQUAÇÃO (44) – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 02	101
FIGURA 20 – TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO CALCULADOS PELA RNA 11 E VALORES OBTIDOS EXPERIMENTALEMTE – CONJUNTO DE TREINAMENTO 02	104
FIGURA 21 –TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO OBTIDOS PELA RNA 11 E VALORES CALCULADOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO (59) – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 02	105
FIGURA 22 – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NO FUNDO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS	107
FIGURA 23 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (49)	110
FIGURA 24 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (48)	110
FIGURA 25 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (54)	110
FIGURA 26 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (56)	110
FIGURA 27 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (61)	111
FIGURA 28 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (65)	111
FIGURA 29 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (68)	111
FIGURA 30 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (85)	111
FIGURA 31 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE DECLIVIDADE DOS DADOS EXPERIMENTAIS E OS VALORES OBTIDOS PELA EQUAÇÃO (91)	112
FIGURA 32 – VELOCIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DO TUBO – COMPARAÇÃO COM A EQUAÇÃO 87	114

FIGURA 33 – VELOCIDADES MÍNIMAS PARA A NÃO DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO
DO DIÂMETRO DO TUBO – COMPARAÇÃO COM A EQUAÇÃO (91) 115

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MODELOS ANALISADOS POR EBTEHAJ E BONAKDARI (2013)	56
TABELA 2 – VARIAÇÕES DOS PARÂMETROS DO CONJUNTO DE TREINAMENTO	62
TABELA 3 – NÚMERO DE NEURÔNIOS NAS CAMADAS ESCONDIDAS DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS AVALIADAS – EQUAÇÃO DE MANNING	64
TABELA 4 – FAIXA DE VARIAÇÃO DOS DADOS DO CONJUNTO DE TREINAMENTO CONSIDERANDO TODOS OS EXPERIMENTOS SEPARADOS POR AUTOR	68
TABELA 5 – RESUMO DOS PADRÕES DE ENTRADA DO CONJUNTO 01	69
TABELA 6 – RESUMO DOS PADRÕES DE ENTRADA DO CONJUNTO 02	71
TABELA 7 – NÚMERO DE NEURÔNIOS NAS CAMADAS ESCONDIDAS DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS AVALIADAS – LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS	72
TABELA 8 – EQUAÇÕES ANALISADAS	77
TABELA 9 – VALORES DOS COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E DO ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) PARA O CONJUNTO DE TREINAMENTO – EQUAÇÃO DE MANNING	79
TABELA 10 – VALORES DOS COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E DO ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) PARA OS CONJUNTOS DE SIMULAÇÃO – EQUAÇÃO DE MANNING	81
TABELA 11 – LIMITES DE EXTRAPOLAÇÃO OBSERVADOS	84
TABELA 12 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA O PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE TREINAMENTO 01	87
TABELA 13 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA O PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01	88
TABELA 14 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA A TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE TREINAMENTO 01	91

TABELA 15 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAS PARA A TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01	92
TABELA 16 – DESEMPENHO DA EQUAÇÃO (84)	96
TABELA 17 – DESEMPENHO DA RNA 20	97
TABELA 18 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAS PARA O PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE TREINAMENTO 02	98
TABELA 19 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNA PARA O PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 02	99
TABELA 20 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAS PARA A TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE TREINAMENTO 02	102
TABELA 21 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAS PARA A TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 02	103
TABELA 22 – DESEMPENHO DA EQUAÇÃO (88)	107
TABELA 23 – DESEMPENHO DA RNA 11	108
TABELA 24 – ADERÊNCIA DAS EQUAÇÕES PARA A VELOCIDADE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO	109
TABELA 25 – COMPARAÇÃO DO ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA DA EQUAÇÃO (87) EM RELAÇÃO ÀS EQUAÇÕES APRESENTADAS NO ITEM 2.2	114
TABELA 26 – COMPARAÇÃO DO ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA DA EQUAÇÃO (91) EM RELAÇÃO ÀS EQUAÇÕES APRESENTADAS NO ITEM 2.2	116
TABELA 27 - CONJUNTO DE TREINAMENTO - EQUAÇÃO DE MANNING	126
TABELA 28 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DO COEFICIENTE DE MANNING	137

TABELA 29 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DA DECLIVIDADE LONGITUDINAL.....	138
TABELA 30 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DA ÁREA E RAIOS HIDRÁULICO	139
TABELA 31 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DA VAZÃO	140
TABELA 32 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DE TODOS OS DADOS DE ENTRADA	141
TABELA 33 – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO – INTERPOLÇÃO / EXTRAPOLAÇÃO	142
TABELA 34 – DADOS EXPERIMENTAIS UTILIZADOS.....	144

LISTA DE SÍMBOLOS

x	Sinais de entrada nas redes neurais artificiais
w	Pesos sinápticos das redes neurais artificiais
θ	Limite de ativação
φ	Função de ativação
y	Sinal de saída da rede neural artificial
u	Potencial de ativação da 1ª camada de neurônios
u'	Potencial de ativação da 2ª camada de neurônios
z	Dado de saída da rede neural artificial
α	Taxa de aprendizagem da rede neural artificial
W	Matriz genérica das conexões sinápticas de qualquer camada intermediária
JW	Matriz jacobiana genérica para qualquer matriz de conexões sinápticas
E	Vetor erro
V	Velocidade do escoamento, em m/s
n	Coeficiente de Manning em $m^{-1/3}.s$
R_h	Raio hidráulico, em m
Q	Vazão, em m^3/s
C	Coeficiente de Chézy
A	Área, em m^2
P	Perímetro, em m
D	Diâmetro do tubo, em m
d	Profundidade, em m
ϕ	Parâmetro de transporte
ψ	Tensão tangencial adimensional
τ_0	Tensão tangencial no fundo do tubo, em N/m^2
u^*	Velocidade de corte, em m/s
ρ_s	Massa específica do grão, em kg/m^3
g	Aceleração da gravidade, em m/s^2
S_s	Densidade aparente do sólido
d_{50}	Diâmetro médio da partícula, em mm
ρ_f	Massa específica do fluido, em kg/m^3
ν	Viscosidade do fluido, em $Pa.s$
Re^*	Número de Reynolds da partícula
Fr^*	Número de Froude da partícula

V_c	Velocidade crítica do escoamento para não deposição, em m/s
C_v	Concentração volumétrica, em ppm
D_{gr}	Diâmetro adimensional do grão
λ_s	Coeficiente de atrito para escoamento com sedimentos
k	Rugosidade, em mm
k_s	Rugosidade equivalente com sedimento no escoamento, em mm
ψ_c	Parâmetro de Shields crítico
λ_0	Coeficiente de atrito para o escoamento de água limpa
τ	Tensão tangencial média, em N/m ²
ξ	Relação entre τ/τ_0
V^*	Velocidade de corte média, em m/s
a_{pond}	Valor do padrão de entrada ponderado
$a_{m\acute{a}x}$	Máximo valor observado na amostra
$a_{m\acute{i}n}$	Mínimo valor observado na amostra
EQM	Erro Quadrático Médio
EPE	Erro Padrão da Estimativa
b	Base do canal trapezoidal, em m
h	Altura da lâmina d'água, em m
t	Variável calculada
t_{obs}	Variável observada
$t_{méd}$	Média das variáveis calculadas
$t_{med,limite\ obs}$	Média das variáveis observadas
R^2	Coeficiente de determinação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	20
2.1.1 Principais características, vantagens e limitações das RNA	20
2.1.2 Neurônio artificial	21
2.1.3 Funções de ativação	23
2.1.4 Arquiteturas, topologias e processos de treinamento das RNA	27
2.1.5 Rede neural artificial <i>perceptron</i> multicamadas	29
2.2 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	38
2.2.1 Escoamento uniforme	38
2.2.2 Galerias de drenagem	41
2.3 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM GALERIAS DE DRENAGEM	42
2.3.1 Condição incipiente de Shields e transporte de sedimentos por arraste	43
2.3.2 Limite de deposição em galerias de drenagem	45
2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	53
3 MATERIAL E MÉTODOS	59
3.1 CONJUNTOS DE TREINAMENTO	59
3.2 MÉTODO EMPREGADO PARA O TREINAMENTO DE RNA PARA MODELAR A EQUAÇÃO DE MANNING	60
3.2.1 Definição do conjunto de treinamento para as RNA destinadas ao aprendizado da equação de Manning	60
3.2.2 Topologias avaliadas para o aprendizado da equação de Manning	63
3.2.3 Definição dos conjuntos de simulação para avaliação das RNA capazes de reproduzir a equação de Manning	64

3.3 MÉTODO EMPREGADO PARA O TREINAMENTO DE UMA RNA PARA MODELAR O LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM GALERIAS DE ÁGUA PLUVIAL.....	65
3.3.1 Definição do conjunto de treinamento para as RNA destinadas ao aprendizado do limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias de água pluvial.....	65
3.3.2 Topologias avaliadas para a determinação do limite de deposição de sedimentos em galerias	71
3.3.3 Definição dos conjuntos de simulação para avaliação das RNA para modelar o limite de deposição de sedimentos em galerias de águas pluviais	72
3.4 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DA MELHOR REDE NEURAL ARTIFICIAL	73
3.5 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE EXTRAPOLAÇÃO E INTERPOLAÇÃO DAS RNA.....	74
3.6 DETERMINAÇÃO DA TENDÊNCIA APRESENTADA PELAS REDES NEURAS NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO	75
3.7 COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES AJUSTADAS E AS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO DISPONÍVEIS NA LITERATURA.....	76
3.8 ESCOLHA DA EQUAÇÃO MAIS INDICADA PARA A EXTRAPOLAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO.....	77
4 RESULTADOS	79
4.1 EQUAÇÃO DE MANNING	79
4.2 LIMITE DE DEPOSIÇÃO UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS	85
4.2.1 Conjunto de treinamento 01.....	86
4.2.2 Conjunto de treinamento 02.....	97
4.3 COMPARAÇÃO DA DECLIVIDADE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO	108
4.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS EQUAÇÕES APRESENTADAS PARA A EXTRAPOLAÇÃO	113
5 CONCLUSÕES.....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
APÊNDICE 1 – CONJUNTOS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE EXTRAPOLAÇÃO E INTERPOLAÇÃO DA EQUAÇÃO DE MANNING	125

ANEXO 1 – CONJUNTOS UTILIZADOS PARA O TREINAMENTO DAS RNA NA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NO FUNDO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS	143
--	------------

1 INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos está presente na maioria das obras hidráulicas. Sejam elas hidrelétricas, canais de derivação, estruturas de macrodrenagem, redes de captação de esgoto, redes de captação de águas pluviais, portos, hidrovias, irrigação, entre outras. Inerente à própria operação da estrutura, os sedimentos carregados pelo escoamento nessas obras podem depositar-se afetando o comportamento hidráulico da mesma, gerando assim a necessidade de uma maior frequência de manutenção.

Tratando-se de galerias de drenagem pluvial, estruturas destinadas ao escoamento de águas oriundas de precipitações, os problemas mais recorrentes atrelados ao transporte de sedimentos estão ligados à sua obstrução, levando a problemas diretos e indiretos relacionados ao mal funcionamento dessas estruturas.

A frequência de manutenção dessas galerias deve ser pensada na concepção do projeto.

Devido ao crescimento descontrolado dos centros urbanos e a falta de recursos financeiros disponibilizados para a manutenção das redes de captação de águas pluviais, é interessante que o projeto alinhe o menor gasto de implantação e o menor custo de manutenção ao longo da vida útil da estrutura.

Visando a minimização dos gastos associados à manutenção da rede de micro drenagem, surge o conceito de galerias de águas pluviais autolimpantes, ou seja, galerias capazes de proporcionar o carreamento de partículas sólidas no escoamento, impedindo que haja deposição.

Tratando-se do aspecto hidráulico de dimensionamento dessas estruturas, as galerias de águas pluviais são dimensionadas levando em consideração apenas critérios simplistas de velocidades e/ou tensões tangenciais máximas e mínimas para uma condição de projeto. Devido à simplicidade, esses critérios podem não ser suficientes para garantir o funcionamento autolimpante desejado da estrutura.

Como alternativa, são sugeridas diversas equações empíricas na determinação da condição de não deposição de sedimento nas galerias. Tais equações são definidas com base em experimentos laboratoriais, destinados a determinação do limite de deposição em galerias.

Essas equações obtidas a partir de regressão relacionam diversas variáveis intrínsecas ao processo, observadas por pesquisadores como Novak e Nalluri (1975), May *et al.* (1996), Mayerle *et al.* (1991), Ab Ghani (1993) e Ota (1999).

A inteligência artificial se apresenta como um método alternativo em relação às equações sugeridas, tornando-se uma ferramenta importante no aspecto de comparação e/ou seleção de uma equação que melhor represente o limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias.

1.1 JUSTIFICATIVA

Haja vista que as galerias de águas pluviais estão implantadas em centros urbanos, as vazões de projeto estão sujeitas a alterações associadas ao crescimento da área urbanizada na região de contribuição à estrutura. Isso leva a redução do tempo de concentração, menor taxa de infiltração e interceptação do volume precipitado, entre outras. Não obstante, obras e ações antrópicas na área de contribuição das galerias, geram uma produção maior de sedimentos arenosos, que são transportados pelas sarjetas e pelo escoamento superficial para o interior das galerias de águas pluviais. Logo, é notável que as condições de operação da estrutura nem sempre são compatíveis com o cenário de projeto. Dessa forma, a obstrução e a perda de capacidade de escoamento devido ao assoreamento das galerias durante sua vida útil intensifica negativamente a capacidade de escoamento da rede de drenagem dessas bacias como um todo.

Com a probabilidade de falha ascendente, as chances de problemas relacionados à drenagem urbana também aumentam. Problemas esses que envolvem alagamentos (pontuais ou não), operação da estrutura sobre pressão, necessidade de manutenção excessiva, não apenas da rede de drenagem, mas também de regiões atingidas, entre outros.

Ainda se tratando de mensurar a importância da caracterização da determinação do limite de deposição de sedimentos nas galerias, é plausível citar a manutenção preventiva. De maneira que estruturas as quais atendem o critério de não deposição geram menos manutenções ao longo de sua vida útil.

As publicações de Nagy *et al.* (2002), Ab Ghani e Azamathulla (2011), Ebtehaj e Bonakdari (2013), Ebtehaj *et al.* (2014), Bonakdari e Ebtehaj (2015), Ebtehaj e Bonakdari (2016), Ebtehaj *et al.* (2016) mostram que a capacidade de aprendizado de métodos que utilizam inteligência artificial possuem um bom desempenho na caracterização do transporte de sedimentos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Utilizar a inteligência artificial para a determinação do limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias de drenagem, avaliando e comparando as respostas fornecidas por uma Rede Neural Artificial com as equações de regressão existentes na literatura, de maneira a identificar a equação entre elas que mais se aproxima dos resultados fornecidos pela rede.

1.2.2 Objetivos específicos

Confronto das respostas das RNA com os valores sugeridos pelas equações de regressão existentes.

Avaliação da influência do conjunto de treinamento nas respostas fornecidas pelas redes neurais artificiais.

Obtenção de uma nova equação de regressão gerada a partir de resultados de redes neurais artificiais, aplicada aos dados experimentais existentes e a comparação dessa equação com as apresentadas na literatura.

Comparação dos resultados fornecidos pelas RNA com os dados experimentais utilizados.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Inicialmente no capítulo 2 desta dissertação, será apresentada uma revisão bibliográfica apontando os principais conceitos e métodos para o desenvolvimento do trabalho, abordando tanto o tema das redes neurais artificiais quanto o transporte de sedimentos.

O capítulo 3 subsequente tratará da metodologia empregada para o desenvolvimento da pesquisa aqui apresentada, destacando os conjuntos de treinamento e simulação utilizados, formas de avaliação das redes neurais e equações já apresentadas na literatura as quais foram utilizadas para comparação com os resultados posteriormente apresentados.

Após a apresentação da metodologia, o capítulo 4 demonstra os resultados obtidos com as redes neurais artificiais e os compara com os resultados obtidos através de equações empíricas. Com a comparação, seleciona-se a rede com a melhor aderência aos dados obtidos através de literatura e ajusta-se uma nova equação de regressão baseada na tendência apresentada pela rede neural.

Por fim, o capítulo 5 apresenta e discute as principais conclusões observadas na dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Este capítulo tem como objetivo contemplar as principais definições, bases teóricas relacionadas às Redes Neurais Artificiais, de maneira a subsidiar o método proposto no Capítulo 3.

Uma Rede Neural Artificial (RNA), pode ser definida grosseiramente como um sistema computacional capaz de simular o processo decisório do sistema nervoso de um ser humano (GRAUPE, 2013).

Essa simulação ocorre através de unidades de processamento da informação recebida, de maneira que a RNA seja capaz de reproduzir um determinado padrão apresentado. Tais unidades de processamento podem estar em diferentes camadas da rede onde elas são interligadas por inúmeras conexões. Através dessas conexões entre as unidades de processamento que a rede consegue armazenar as informações apresentadas ao sistema, transmitindo a informação recebida a um estímulo de saída (BRAGA; LUDERMIR; CARVALHO, 2007).

O sistema nervoso humano, pode ser caracterizado como um sistema de processamento de informações altamente complexo, não linear e paralelo, possuindo a capacidade de organizar sua forma estrutural, com o objetivo de realizar tarefas como classificação de padrões, percepções, controle motor, entre outras, muito mais rápido que qualquer outra máquina ou computador existente (KUBAT, 1999).

No sistema nervoso humano as células capazes de conduzir a transmissão dos impulsos nervosos são denominadas de neurônios, e a região a qual transmite este impulso é denominada sinapse. Analogamente, em uma RNA as unidades de processamento são denominadas de neurônios artificiais e as suas conexões de pesos sinápticos (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016).

2.1.1 Principais características, vantagens e limitações das RNA

Segundo Braga, Ludemir e Carvalho (2007), a aplicação das RNA na resolução de problemas matemáticos complexos é bastante atrativa, do ponto de vista que o

paralelismo inerente ao sistema possibilita a obtenção de um desempenho superior a outros modelos matemáticos, levando à conclusão que este sistema é capaz de atuar como identificador universal de funções multivariadas.

Silva, Spatti e Flausino (2016) destacam a capacidade de aproximação universal das Redes Neurais Artificiais. Graupe (2013) ressalta que as RNA nos permite solucionar problemas matemáticos complexos apenas utilizando operações computacionais simples (adição, subtração, divisão e multiplicação) repetidas vezes através de um algoritmo convencional. A maior contribuição das RNA deve partir do pressuposto que com um sistema simples, seja possível a resolução de problemas complexos, em especial os não analíticos e/ou não estacionários e/ou estocásticos.

As RNA possuem grande capacidade de convergência computacional devido ao paralelismo de sua estrutura, a habilidade em aprender e reconhecer padrões e a sua capacidade de reprodução e generalização do problema apresentado. Por generalização, entende-se a capacidade que as RNA possuem em produzir uma saída aceitável para um determinado conjunto de pontos não apresentado à rede na fase de treinamento (KUBAT, 1999).

Kubat (1999) apresenta nove propriedades atrativas do ponto de vista usual das RNA. Desses nove pontos destacam-se dois para o presente trabalho, sendo eles a não linearidade das RNA e a capacidade de mapeamento das entradas e saídas. Essas características indicam que as redes possuem a capacidade de mapeamento de fenômenos não lineares, os quais através de informações de entrada produzem informações de saída.

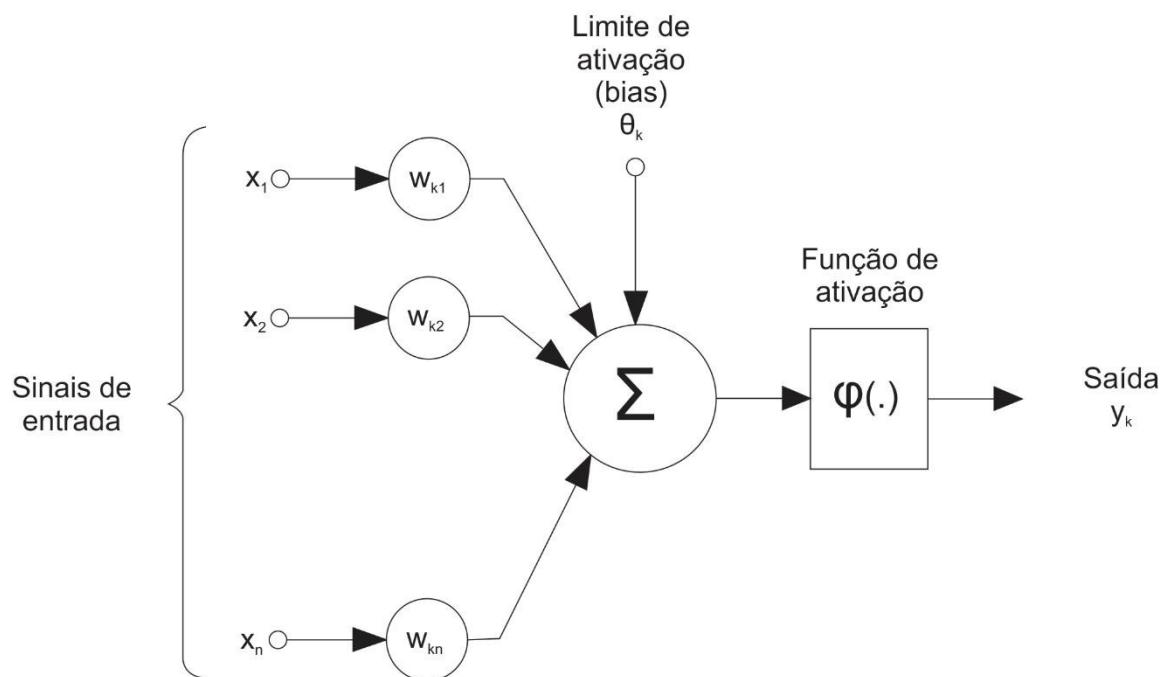
Silva, Spatti e Flausino (2016) citam que as características mais relevantes relacionadas a aplicação das RNA compreendem a adaptação por experiência, capacidade de aprendizado, habilidade de generalização, organização de dados, tolerância às falhas e armazenamento distribuído.

2.1.2 Neurônio artificial

A arquitetura de uma RNA é composta basicamente pelas unidades de processamento e suas conexões. Dessa forma, os neurônios artificiais correspondem às unidades de processamento, indispensáveis à arquitetura de uma RNA (HAYKIN, 2001).

Conforme apresentado por Kubat (1999), Silva, Spatti e Flausino (2016) afirmam que os neurônios artificiais utilizados no sistema não são lineares, apresentam saídas contínuas e realizam funções simples, como coletar os sinais (ou entradas), agrega-los de acordo com a sua função operacional e produzir uma resposta, respeitando sua função de ativação. Os neurônios artificiais podem ser esquematicamente representados a partir do diagrama apresentado na Figura 1.

FIGURA 1 - NEURÔNIO ARTIFICIAL



FONTE: ADAPTADO DE SILVA, SPATTI E FLAUSINO (2016)

Dado um número de neurônios k , na Figura 1 é possível identificar os elementos básicos essenciais para o funcionamento pleno de um neurônio artificial. Silva, Spatti e Flausino (2016) descreve-os como:

- Sinais de entrada (x_1, x_2, \dots, x_n): Correspondem aos sinais ou qualquer outra medida que venha do meio externo ao neurônio, representando os valores assumidos pelas variáveis de uma aplicação específica. Usualmente, esses valores são normalizados, a fim de incrementar a eficiência computacional dos algoritmos de aprendizagem;
- Pesos sinápticos ($w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kn}$): São escalares que representam a ponderação de cada um dos sinais de entrada advindos ao neurônio, os quais permitem quantificar as suas relevâncias em relação à funcionalidade do respectivo neurônio;

- c) Combinador Linear: Possui o papel de agregar o produto dos sinais de entrada pelos pesos sinápticos, produzindo um valor denominado de potencial de ativação;
- d) Limite de Ativação (θ_k): representa uma variável específica para que o resultado produzido pelo combinador linear possa gerar um valor razoável em direção ao dado de saída do neurônio;
- e) Potencial de ativação: É o resultado obtido pela soma do valor produzido entre o combinador linear e o limite de ativação;
- f) Função de ativação (φ): Possui o objetivo de limitar a saída do neurônio dentro de um intervalo de valores a serem assumidos pela sua própria imagem funcional e
- g) Sinal de saída (y_k): o qual consiste no valor do dado de saída do neurônio. Está associado à uma combinação de determinados sinais de entrada, pesos sinápticos e limite de ativação.

Conforme Haykin (2001), é possível descrever matematicamente o comportamento de um determinado neurônio k , utilizando as duas equações abaixo:

$$u_k = \sum_{j=1}^n w_{kj}x_j - \theta_k \quad (1)$$

e

$$\varphi(u_k) = y_k \quad (2)$$

Onde x_1, x_2, \dots, x_n são os sinais de entrada; $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kn}$ são os pesos sinápticos do neurônio k ; θ_k é o limite de ativação; u_k é o potencial de ativação; $\varphi(u_k)$ é a função de ativação do neurônio artificial k e y_k é o sinal de saída do neurônio k .

2.1.3 Funções de ativação

A função de ativação $\varphi(u_k)$ define o sinal de saída do neurônio k em função do potencial de ativação produzido pela combinação dos produtos dos dados de entrada pelos pesos sinápticos do neurônio, somado ao valor do limite de ativação (HAYKIN, 2001). As funções podem seguir as mais diferentes equações. Podemos classificá-las em dois grupos principais, as parcialmente diferenciáveis e as totalmente

diferenciáveis. No primeiro grupo pode-se citar as funções degrau, degrau bipolar e rampa simétrica. Compõem o segundo grupo as funções: linear, logística, tangente hiperbólica e gaussiana. As funções de ativação completamente diferenciáveis são as funções cujas derivadas de primeira ordem existem e são conhecidas em todos os pontos do seu domínio (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016). Nesta dissertação serão utilizadas apenas as funções diferenciáveis.

a) Função de ativação linear

Silva, Spatti e Flausino (2016) cita que a função de ativação linear possui a característica de reproduzir em mesma intensidade o valor do potencial de ativação para o sinal de saída, possuindo sua expressão definida por:

$$\varphi(u_k) = c u_k \quad (3)$$

A derivada da equação (3) é apresentada na equação (4) abaixo:

$$\varphi'(u_k) = c \quad (4)$$

onde c representa uma constante.

b) Função de ativação logística

Diferentemente da função de ativação linear, a função de ativação logística produz um sinal de saída o qual obedece a curva produzida pela função logística (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016). A função logística corresponde a equação (5):

$$\varphi(u_k) = \frac{1}{1 + e^{-\beta u_k}} \quad (5)$$

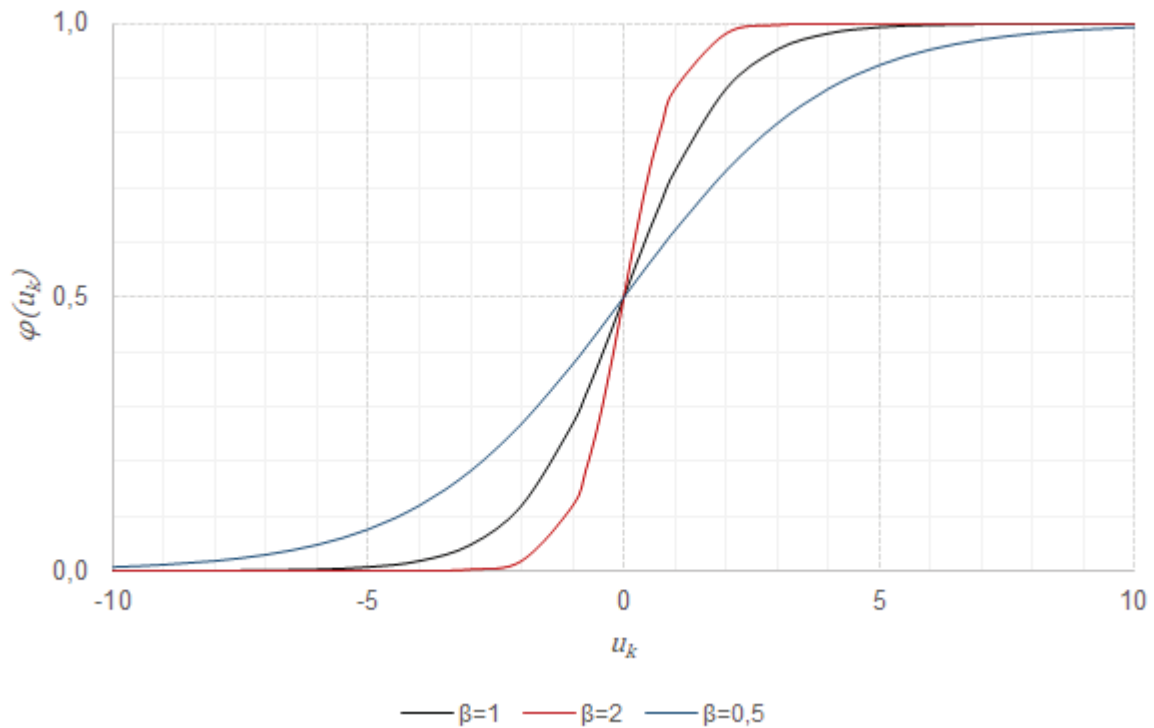
onde o valor de β representa uma constante relacionada à inclinação da função logística em relação ao eixo horizontal.

A derivada da equação de ativação logística, equação (5), corresponde à equação (6):

$$\varphi'(u_k) = \beta \varphi(u_k) [1 - \varphi(u_k)] \quad (6)$$

A Figura 2 apresenta o comportamento da curva definida pela aplicação da equação (5):

FIGURA 2 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO LOGÍSTICA



FONTE: O AUTOR (2018)

Nota-se na Figura 2 que para valores de entrada inferiores a 0 a função de ativação logística produz valores sempre inferiores a 0,5, e para valores superiores a 0 a função retorna valores superiores a 0,5, independentemente do valor de β .

Todavia, para valores de β maiores do que 1 a função tende a possuir uma inclinação maior na sua região central, se comportando assim, muito sensivelmente para pequenas variações para valores de entrada próximos a 0.

Para valores de β menores do que 1, a função possui um comportamento típico de uma função tipo rampa simétrica, tornando as respostas menos sensíveis para uma mesma variação no dado de entrada.

É possível observar ainda que, para dados de entrada muito grandes ou muito baixos, a função retorna seu valor de saturação, que corresponde a 0 para valores muito baixos e a 1 para valores muito altos.

c) Função de ativação tangente hiperbólica

Diferentemente da equação logística, a equação da tangente hiperbólica compreende valores de saída entre $[-1,1]$ (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016). A função hiperbólica pode ser definida conforme a equação (7):

$$\varphi(u_k) = \frac{1 - e^{-\beta u_k}}{1 + e^{-\beta u_k}} \quad (7)$$

onde o valor de β , assim como na função da tangente hiperbólica, representa uma constante relacionada a inclinação da função logística em relação ao eixo horizontal. A equação (8) apresenta a derivada da tangente hiperbólica:

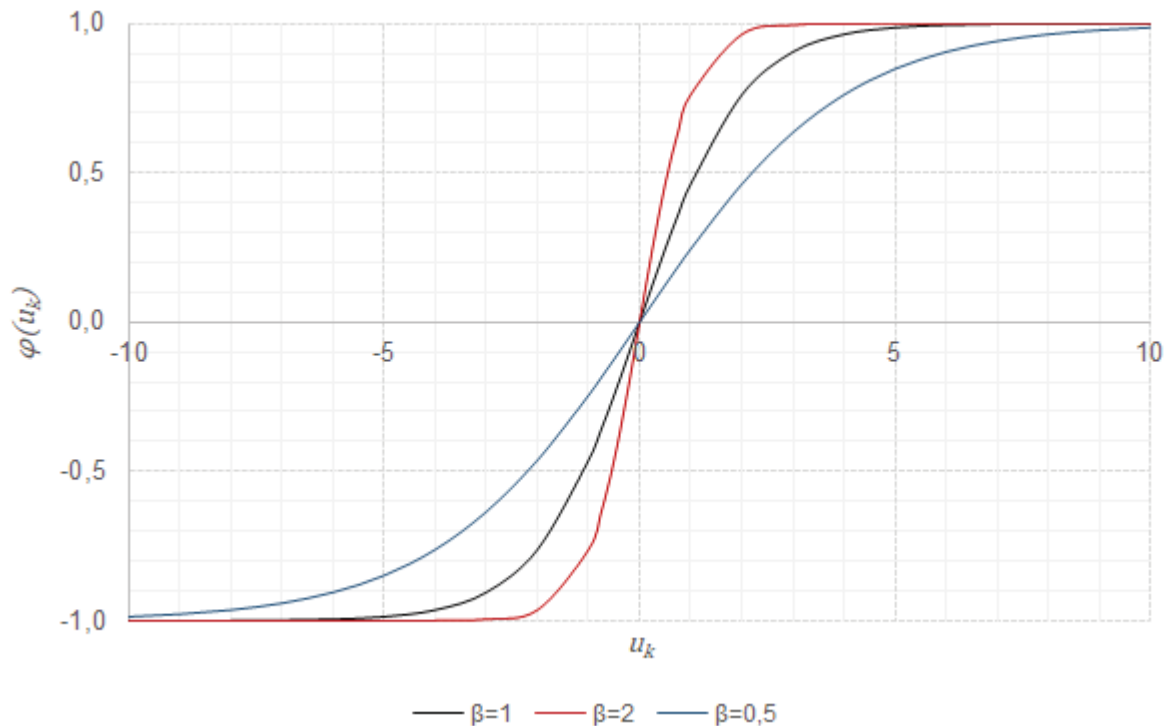
$$\varphi'(u_k) = \frac{\beta}{2} [1 + \varphi(u_k)][1 - \varphi(u_k)] \quad (8)$$

O gráfico da função da tangente hiperbólica é representado pela Figura 3. Ao analisar a figura, observa-se um comportamento similar ao comportamento da função de ativação logística. A diferença encontra-se que para valores de entrada inferiores a 0, a função produz resultados inferiores a 0, e para valores superiores a 0, a função produz resultados superiores a 0, se limitando a imagem compreendida entre -1 e 1.

Contudo, existe o mesmo comportamento da função com a variação do parâmetro β , onde para valores altos a função se assemelha a uma função degrau, e para valores baixos a função se assemelha a uma função do tipo rampa simétrica.

Porém nota-se que os valores máximos e mínimos que a função pode produzir corresponde aos valores de -1 e 1. Indicando que para entradas muito pequenas a rede sempre vai retornar o seu valor de saturação inferior, equivalente a -1, e para valores de entrada muito altos a rede retornará um valor máximo igual a 1.

FIGURA 3 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO TANGENTE HIPERBÓLICA



FONTE: O AUTOR (2018)

2.1.4 Arquiteturas, topologias e processos de treinamento das RNA

A arquitetura de uma RNA define o arranjo da disposição dos neurônios artificiais e a direção das conexões sinápticas da rede (SILVA *et al.*, 2017). A topologia de uma RNA pode ser definida como as diferentes formas de composições estruturais que a RNA pode assumir. Ou seja, a topologia está associada ao número de neurônios artificiais, as funções de ativação utilizadas e o número de camadas de processamento (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016).

Haykin (2001) correlaciona a arquitetura da rede em função do tipo e processo de aprendizagem a qual ela será submetida.

O processo de aprendizagem de uma RNA pode ser brevemente definido como as etapas de aplicação de um determinado roteiro com o objetivo de ajustar os pesos sinápticos de maneira que o resultado final convirja para o resultado esperado (SILVA *et al.*, 2017).

Seja qual for a arquitetura utilizada, as RNA podem ser subdivididas em três partes diferentes, que correspondem a parte de entrada, processamento e saída dos dados. As partes de entrada e saída geralmente são compostas por uma única

camada. Entretanto a parte de processamento pode possuir várias camadas. A parte de entrada da RNA é responsável pelo recebimento dos dados contidos em um padrão de entrada (Conjunto de dados ou informações apresentadas à rede). Usualmente estes padrões sofrem normalizações decorrentes dos domínios e imagens das funções de ativação utilizadas nas redes. A parte de processamento corresponde à parte que possui neurônios responsáveis por extrair as características e comportamentos dos padrões de entrada. A parte de saída contém a camada constituída de neurônios responsáveis pela apresentação dos resultados limite da RNA (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016).

As mais diversas arquiteturas podem ser classificadas em dois grandes grupos, *feedforward* e *recurrent*. As arquiteturas *feedforward* são arquiteturas as quais não apresentam ciclos em suas ligações sinápticas. As redes do tipo *recurrent* são redes que possuem *loops* em suas ligações sinápticas (JAIN e MAO, 1996; HAYKIN, 2001; SILVA *et al.*, 2016). Nesta dissertação apenas as redes *feedforward* serão utilizadas, isto é, com as iterações sem ciclos.

a) Arquitetura *feedforward* de camada única

As RNA com arquiteturas *feedforward* de camada única são as arquiteturas mais simples encontradas na literatura. Neste tipo de arquitetura, a RNA é composta de uma camada de entrada que se projeta para uma única camada de saída, a qual fornece os valores de resposta da RNA. Estas arquiteturas são assim denominadas devido a única camada de neurônios de processamento existente (HAYKIN, 2001). São exemplos de redes deste tipo as redes *perceptron* e *adaline*.

b) Arquitetura *feedforward* de camadas múltiplas

As RNA com arquitetura *feedforward* de camadas múltiplas diferem das RNA de camada única por possuírem uma ou mais camada de processamento oculta, isto é, entre a camada de entrada e a camada de saída (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016).

A função das camadas ocultas é intervir entre os dados de entrada e os dados de saída de maneira que os neurônios nestas camadas sejam capazes de extraírem

informações de ordem elevada dos padrões apresentados na camada de entrada. Característica muito valiosa para problemas multivariados (HAYKIN, 2001).

2.1.5 Rede neural artificial *perceptron* multicamadas

As redes neurais *perceptron* Multicamadas são caracterizadas por possuírem pelo menos uma camada de neurônios escondida em sua estrutura, muitas vezes denominada de camada oculta (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016).

Este tipo de arquitetura pode ser classificado como uma rede *feedforward*, assim como o *perceptron* de camada única, e é imensamente aplicada nas mais diversas áreas da ciência (SVOZIL; KVASNIEKA; POSPICHAL, 1997).

As redes *perceptron* multicamadas possuem um poder computacional muito superior às arquiteturas sem camadas intermediárias. Este tipo de arquitetura permite a classificação de padrões de entrada que não são linearmente separáveis (GRAUPE, 2013).

Dentre as maiores atratividades em se empregar uma RNA *perceptron* Multicamadas, encontra-se a notória capacidade de aproximação destas arquiteturas. Hornik *et al.* (1989) ressaltam que uma rede com essa arquitetura é capaz de aproximar qualquer função para qualquer grau satisfatório de acurácia.

Além da capacidade de aproximação de funções, as redes neurais artificiais com arquitetura *perceptron* Multicamadas são conhecidas por sua aplicação envolvendo a solução de problemas que necessitam da capacidade de reconhecimento de padrões, previsão de séries temporais e otimização de sistemas (SILVA *et al.*, 2017).

Os neurônios, quando organizados de tal maneira a formar este tipo de arquitetura, proporcionam a RNA uma notável habilidade de extrair as informações essenciais de um conjunto de treinamento e aplicar em um conjunto de pontos novos não apresentados a rede na fase de aprendizagem (SIETSMA e DOW, 1991).

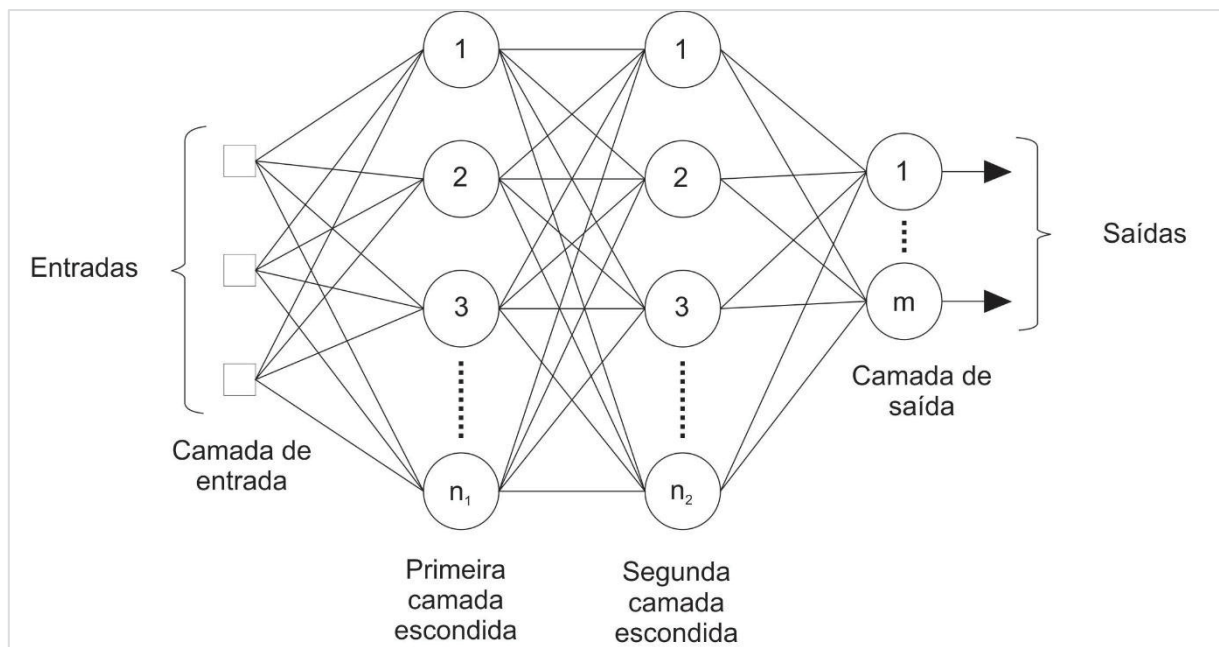
Entretanto, a pesar de muitos autores citarem a capacidade de reconhecimento de padrões e capacidade de generalização da RNA *perceptron* multicamadas, as mesmas não apresentam um desempenho desejável em extrapolações dos dados apresentados na etapa de aprendizagem (BARNARD e WESSELS, 1992).

A RNA *perceptron* Multicamadas ou *Multi Layer Perceptron* (MLP), apresentada neste capítulo, corresponde a arquitetura de RNA que será utilizada no desenvolvimento desta dissertação. Nos itens posteriores será descrito o método de processamento das informações nesta arquitetura e os algoritmos de aprendizagem da rede, o mais tradicional (*backpropagation*) e o utilizado na dissertação (*Levenberg-Marquardt*).

2.1.5.1 O processamento de informações em uma RNA *perceptron* Multicamadas

A Figura 4 ilustra uma arquitetura esquemática de uma rede *perceptron* multicamadas. Similarmente a uma RNA *perceptron* de camada única, o sentido de processamento ocorre da camada de entrada (mais à esquerda) até a camada de saída (mais à direita). Porém, diferentemente da *perceptron* de camada única, essa arquitetura de RNA possui um número maior de neurônios e de camadas de processamento, o que possibilita a classificação não linear dos padrões de entrada (SILVA *et al.*, 2017).

FIGURA 4 - ARQUITETURA TÍPICA RNA *PERCEPTRON* MULTICAMADAS



FONTE: ADAPTADO DE SILVA, SPATTI E FLAUSINO (2016)

Analisando a Figura 4, nota-se que as entradas da RNA alimentam a primeira camada de neurônios (camada de entrada), a qual processa os dados e transmite à próxima camada um sinal proporcional a combinação dos sinais de entrada (potencial

de ativação). O potencial de ativação resultante nos neurônios da primeira camada é transmitido à segunda camada de processamento escondida, a qual assim como a primeira camada, processa os estímulos e passa para a camada de saída (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016).

Ainda na Figura 4, observa-se que a rede é totalmente conectada. Isto é, uma informação de entrada é transmitida em todos os neurônios da rede devido a todas as unidades de processamento (neurônios artificiais) de uma camada mais à direita estar conectado com todas as unidades de processamento das camadas mais à esquerda (HAYKIN, 2001).

Braga, Ludemir e Carvalho (2007) enfatizam as funcionalidades de cada uma das camadas escondidas. No processamento dos dados de entrada, a primeira camada escondida traça retas no espaço dos padrões de treinamento. A segunda camada intermediária tem a função de combinar cada uma destas retas e formar regiões convexas de maneira que o número de lados é definido em função ao número de unidades a ele conectadas. E na camada de saída, cada neurônio forma regiões as quais são combinações das regiões convexas definidas pelos nodos a ele conectados da camada anterior.

Cybenko (1989) demonstra que qualquer função contínua pode ser aproximada por uma rede neural com apenas uma camada de neurônios escondida. E qualquer função matemática pode ser aproximada em uma rede neural artificial com duas camadas intermediárias. Bishop (1995) enfatiza que uma rede neural com duas camadas escondidas é capaz de aproximar qualquer função matemática.

Haykin (2001) conclui que a utilização de duas ou mais camadas escondidas em uma RNA *perceptron* multicamadas pode facilitar seu treinamento, entretanto, deve-se sempre estar atento para situações de *overfitting* e *underfitting*. Ambos os fenômenos de *overfitting* e *underfitting* condizem com o inadequado número de neurônios e/ou camadas escondidas na rede. No caso do *underfitting* a rede não irá convergir a um resultado aceitável devido ao número reduzido de camadas e/ou neurônios. No caso do *overfitting*, a rede convergirá para um resultado bom para os padrões no conjunto de treinamento, mas para interpolações não apresentará um comportamento satisfatório (SILVA *et al.*, 2017).

Devido a isso, subintende-se que uma das mais importantes etapas em se construir uma RNA trata-se da escolha do número de camadas escondidas e do número de neurônios em cada uma destas camadas.

O *overfitting* é um dos problemas mais comuns em redes neurais artificiais, devido às incertezas contidas na seleção do número de neurônios na topologia. Dado isto, Sarle (1995) indica que a forma mais simples e mais comum de se evitar o *overfitting* é parar previamente o treinamento da rede. Para a aplicação deste método sugere-se que o conjunto de treinamento seja dividido em dois conjuntos distintos, um de treinamento e o outro de validação; utilizar um grande número de neurônios escondidos; taxa de aprendizagem pequena e valores iniciais pequenos e aleatórios. O treinamento deve parar quando o erro de validação começar a subir entre as iterações.

DOUKIM *et al.* (2010), apresentam a determinação do número de neurônios em duas etapas. A primeira consiste em uma variação grosseira, onde o número de neurônios varia muito de uma topologia para a outra, e após isso a segunda etapa, denominada de variação fina, onde se altera de unidade em unidade o número de neurônios em uma camada buscando o menor erro quadrático médio para o conjunto de cada treinamento da rede.

2.1.5.2 O modelo de aprendizagem da RNA *Perceptron* Multicamadas

Conforme apresentado no item 2.1.5.1 e ilustrado na Figura 4, as RNA com arquitetura do tipo *perceptron* multicamadas usualmente possuem os sinais funcionais e os sinais de erro, os quais estão diretamente relacionados a arquitetura da rede e o procedimento (algoritmo) de aprendizagem (BRAGA; LUDERMIR; CARVALHO, 2007; GRAUPE, 2013; HORNIK, 1991; SILVA *et al.*, 2017).

Braga, Ludemir e Carvalho (2007), Silva, Spatti e Flausino (2016) e Bishop (1995) as redes *perceptron* multicamadas possuem duas fases de processamento, a fase *forward* e a fase *backward*. A fase *forward* é corresponde a fase que promove a saída de um sinal da rede com base em um padrão de entrada. Já a fase *backward* utiliza a diferença entre o dado de saída obtido e o dado de saída que deveria ter resultado na rede, e propaga esse erro retroativamente na rede, provocando uma atualização dos pesos e dos *bias* das unidades de processamento.

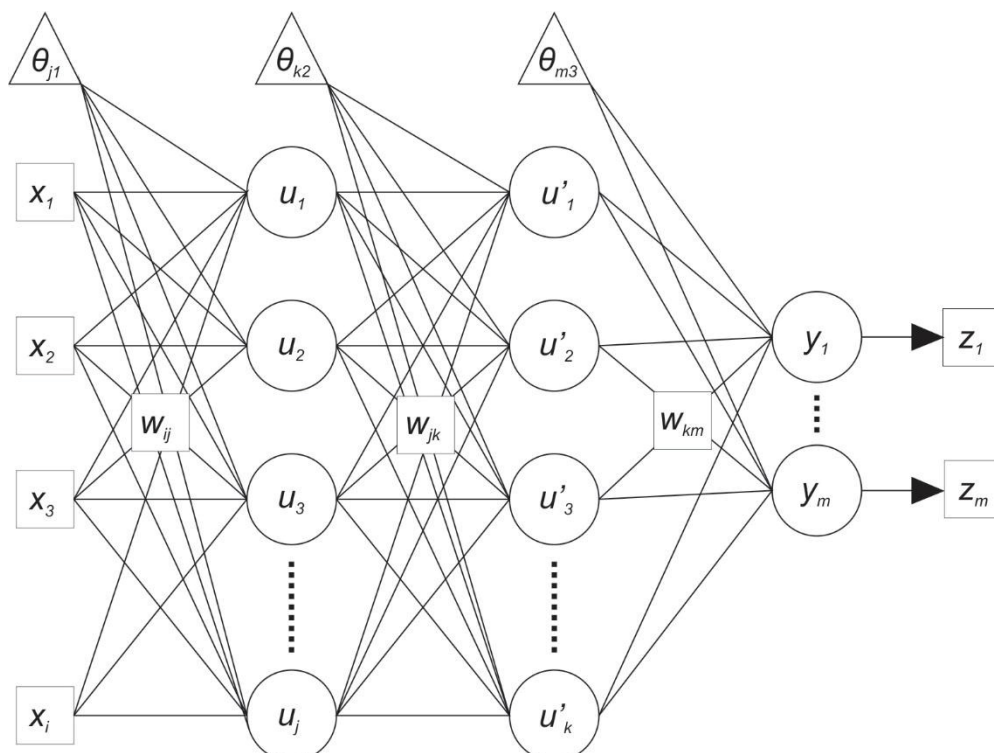
A fase *forward* para a rede *perceptron* multicamadas independe do método de treinamento, o qual irá influenciar apenas na fase *backward*. Os métodos de aprendizagem de uma RNA *perceptron* multicamadas podem se dar por diversos algoritmos consagrados, como o *Backpropagation*, *Levenberg-Marquardt*, *Resilient*

Propagation, Manhattan Update Rule, Scaled Conjugate Gradient, Quick Propagation, Simulated Annealing e Algoritmos Genéticos (MARTINS *et al.*, 2016). Para a fase *backward* serão apresentados nos itens posteriores os algoritmos de *backpropagation* e Levenberg-Marquardt.

a) Fase de propagação dos sinais de entrada

Fausett (1993) demonstra o funcionamento da fase *forward* de uma RNA *perceptron* multicamadas. Para um melhor entendimento deste processo a Figura 5 pode ser utilizada. Nela estão apresentadas duas camadas típicas da RNA *perceptron* Multicamadas, com i dados de entrada e m dados de saída, contendo j neurônios artificiais na primeira camada escondida e k neurônios na segunda camada escondida. Além disso, é possível identificar as variáveis correspondentes aos pesos sinápticos entre os neurônios das camadas da RNA, onde w_{ij} são os pesos sinápticos entre os dados contidos na camada de entrada e a primeira camada de processamento oculta da RNA, w_{jk} são os pesos sinápticos entre os neurônios da primeira e segunda camada de processamento oculta e w_{km} são os pesos sinápticos entre a segunda camada de processamento oculta e os dados de saída da RNA.

FIGURA 5 – CONEXÕES TÍPICAS DE UMA REDE NEURAL *PERCEPTRON* MULTICAMADAS



FONTE: ADAPTADO DE SILVA, SPATTI E FLAUSINO (2016)

Silva, Spatti e Flausino (2016) e Fausett (1993) apresentam o algoritmo de propagação dos sinais de entrada (fase *forward*). Durante a etapa *forward* cada dado pertencente ao padrão de entrada apresentado a primeira camada ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$), é multiplicado pelo seu peso sináptico (w_{ij}) e somado com o limite de ativação ligado a cada neurônio da primeira camada escondida (θ_{j1}) e propaga um sinal para a camada subsequente. A equação (9) apresenta o potencial de ativação dos neurônios da primeira camada escondida.

$$u_j = \sum_{i=1}^i x_i w_{ij} + \theta_{j1} \quad (9)$$

Com o processamento de todos os potenciais de ativação da primeira camada escondida, os estímulos recebidos pelos neurônios da segunda camada escondida serão equivalentes ao resultado da função de ativação dos neurônios da primeira camada acrescidos do limite de ativação da segunda camada. A equação (10) descreve o estímulo recebido pela segunda camada de processamento.

$$u'_k = \sum_{j=1}^j \varphi(u_j) w_{jk} + \theta_{k2} \quad (10)$$

De forma análoga, após o processamento de todos os potenciais de ativação da segunda camada escondida, os estímulos recebidos pelos neurônios da camada de saída serão equivalentes ao resultado da função de ativação dos neurônios da segunda camada acrescidos do limite de ativação da camada de saída. A equação (11) apresenta o estímulo recebido pelos neurônios da camada de saída.

$$y_m = \sum_{k=1}^k \varphi(u'_k) w_{km} + \theta_{m3} \quad (11)$$

Para a obtenção dos dados de saída aplica-se novamente os sinais recebidos na função de ativação nas unidades de processamento da camada de saída:

$$z_m = \varphi(y_m) \quad (12)$$

Durante a etapa de treinamento cada dado de saída calculado pela rede é comparado com o dado que a rede deveria ter retornado, associando assim um erro correspondente a diferença entre o dado resultante na rede e o dado correto. Com

base neste erro então é feita a correção dos pesos sinápticos entre as camadas (FAUSETT, 1993).

b) Modelo de aprendizagem *Backpropagation*

Após a fase *forward*, deverão ser analisadas as diferenças entre os resultados obtidos pela rede neural e os resultados que deveriam ser obtidos, para todos os padrões do conjunto de treinamento. Essa diferença é propagada para as camadas anteriores utilizando o valor do erro quadrático médio, descrito pela equação (13) (BRAGA; LUDERMIR; CARVALHO, 2007; FAUSETT, 1993; SILVA *et al.*, 2017):

$$EQM(p) = \frac{1}{2} \sum_{a=1}^m (d_a(p) - z_a(p))^2 \quad (13)$$

Onde d_a é o valor desejado de saída de uma variável para um determinado padrão de entrada p . Com base no erro produzido para cada padrão de entrada apresentado à rede, descrito na equação acima, através da regra da cadeia é possível determinar o gradiente da correção de cada um dos pesos sinápticos da RNA através das equações (14) e (15) (SVOZIL; KVASNIEKA; POSPICHAL, 1997):

$$w_{ij}^{(t+1)} = w_{ij}^{(t)} - \alpha \left(\frac{\delta E}{\delta w_{ij}} \right)^{(t)} \quad (14)$$

$$\theta_{ij}^{(t+1)} = \theta_{ij}^{(t)} - \alpha \left(\frac{\delta E}{\delta \theta_{ij}} \right)^{(t)} \quad (15)$$

Onde α é a taxa de aprendizagem da rede, os valores w_{ij} e θ_{ij} são respectivamente os valores correspondentes ao valor do peso sináptico e do limite de ativação genéricos corrigidos, de quaisquer uma das camadas da RNA, onde o índice i está associado a camada anterior e j a camada posterior do peso a ser corrigido e t corresponde a iteração da rede neural.

O termo relativo a derivada parcial o qual é apresentado nas equações (14) e (15), pode ser obtido através da derivação do valor do erro em relação ao peso sináptico da camada que se deseja corrigir. Isto é, pode ser definido como o gradiente local em relação ao j -ésimo neurônio da camada posterior (SILVA *et al.*, 2017).

Braga, Ludemir e Carvalho (2007) apresenta a resolução desta derivada parcial relacionando o nível da camada em que se deseja atualizar os pesos. Para os pesos

da camada de saída, representados na Figura 5 como w_{km} o valor da derivada pode ser escrito como:

$$\frac{\delta E}{\delta w_{km}} = (d_m - z_m) \cdot f'(y_m) \cdot f(u'_k) \quad (16)$$

$$\delta_{km} = (d_m - z_m) \cdot f'(y_m) \quad (17)$$

Logo, podemos escrever as equações (16) e (17) para a correção dos pesos sinápticos e dos limites de ativação da terceira camada da Figura 5 como:

$$w_{km}^{(t+1)} = w_{km}^{(t)} - \alpha [\delta_{km} \cdot f(u'_k)]^{(t)} \quad (18)$$

$$\theta_{m3}^{(t+1)} = \theta_{m3}^{(t)} - \alpha [\delta_{km}]^{(t)} \quad (19)$$

Para as outras camadas intermediárias a correção dos pesos se dá de forma diferenciada. Para os pesos correspondentes a segunda camada escondida, têm-se:

$$\frac{\delta E}{\delta w_{jk}} = \left(\sum_1^m \delta_{km} \cdot w_{km} \right) \cdot f'(u'_k) \cdot f(u_j) \quad (20)$$

$$\delta_{jk} = \left(\sum_1^m \delta_{km} \cdot w_{km} \right) \cdot f'(u'_k) \quad (21)$$

$$w_{jk}^{(t+1)} = w_{jk}^{(t)} - \alpha [\delta_{jk} \cdot f(u_j)]^{(t)} \quad (22)$$

$$\theta_{j2}^{(t+1)} = \theta_{j2}^{(t)} - \alpha [\delta_{jk}]^{(t)} \quad (23)$$

Para a primeira camada escondida têm-se:

$$\frac{\delta E}{\delta w_{ij}} = \left(\sum_1^j \delta_{jk} \cdot w_{jk} \right) \cdot f'(u_j) \cdot f(x_i) \quad (24)$$

$$\delta_{ij} = \left(\sum_1^j \delta_{jk} \cdot w_{jk} \right) \cdot f'(u_{j1}) \quad (25)$$

$$w_{ij}^{(t+1)} = w_{ij}^{(t)} - \alpha [\delta_{ij} \cdot f(x_i)]^{(t)} \quad (26)$$

$$\theta_{i1}^{(t+1)} = \theta_{i1}^{(t)} - \alpha [\delta_{ij}]^{(t)} \quad (27)$$

Para uma melhor compreensão pode-se dizer que o algoritmo *backpropagation* procura minimizar o erro obtido pela rede neural, ajustando pesos e limites para que eles correspondam às coordenadas dos pontos mais baixos da superfície do erro, logo utiliza-se um método de gradiente do erro. Este gradiente garante que a função

caminhe sempre na direção que o erro for menor. Para a resolução de problemas simples, este mínimo certamente compreenderá ao erro mínimo global, porém para funções mais complexas este erro pode ser um mínimo local, induzindo a uma interpretação errônea do resultado apresentado pela RNA (BRAGA; LUDERMIR; CARVALHO, 2007).

c) Modelo de aprendizagem *Levenberg-Marquardt*

A utilização do método de aprendizagem *backpropagation* tende a possuir uma convergência muito lenta, requisitando um elevado custo computacional para a execução da fase de treinamento. Um dos algoritmos utilizados com a intenção de deixar a fase de treinamento mais rápida e com um custo computacional menor é o algoritmo de *Levenberg-Marquardt* (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016).

Este método corresponde a aplicação de um método de gradiente de segunda ordem, baseando-se no método dos mínimos quadrados que pode ser incorporado ao modelo *backpropagation* com o objetivo de potencializar a eficiência do treinamento da rede neural (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016). A expressão a qual caracteriza o aprendizado iterativo da rede pode ser escrita como:

$$\Delta \mathbf{W} = (J^T(\mathbf{W}) \cdot J(\mathbf{W}) + \mu \cdot I)^{-1} \cdot J^T(\mathbf{W}) \cdot \mathbf{E} \quad (28)$$

Onde \mathbf{W} corresponde a matriz genérica de pesos sinápticos de qualquer camada intermediária, e \mathbf{E} ao vetor erro referente as p amostras de treinamento.

A matriz jacobiana (\mathbf{JW}) é representada conforme equação (30), também genericamente para qualquer uma das matrizes de pesos sinápticos envolvida na RNA.

$$J(\mathbf{W}^n) = \mathbf{JW} \quad (29)$$

$$\mathbf{JW} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{E}(1)}{\partial W_{1,1}^n} & \dots & \frac{\partial \mathbf{E}(1)}{\partial W_{1,k}^n} & \frac{\partial \mathbf{E}(1)}{\partial W_{2,1}^n} & \dots & \frac{\partial \mathbf{E}(1)}{\partial W_{2,k}^n} & \frac{\partial \mathbf{E}(1)}{\partial W_{l,1}^n} & \dots & \frac{\partial \mathbf{E}(1)}{\partial W_{l,k}^n} \\ \frac{\partial \mathbf{E}(2)}{\partial W_{1,1}^n} & & \frac{\partial \mathbf{E}(2)}{\partial W_{1,k}^n} & \frac{\partial \mathbf{E}(2)}{\partial W_{2,1}^n} & & \frac{\partial \mathbf{E}(2)}{\partial W_{2,k}^n} & \frac{\partial \mathbf{E}(2)}{\partial W_{l,1}^n} & & \frac{\partial \mathbf{E}(2)}{\partial W_{l,k}^n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \mathbf{E}(p)}{\partial W_{1,1}^n} & \dots & \frac{\partial \mathbf{E}(p)}{\partial W_{1,k}^n} & \frac{\partial \mathbf{E}(p)}{\partial W_{2,1}^n} & \dots & \frac{\partial \mathbf{E}(p)}{\partial W_{2,k}^n} & \frac{\partial \mathbf{E}(p)}{\partial W_{l,1}^n} & \dots & \frac{\partial \mathbf{E}(p)}{\partial W_{l,k}^n} \end{bmatrix} \quad (30)$$

Onde n é o número de camadas, p o número de amostras, k o número de neurônios na camada $n-1$ e l o número de neurônios na camada n .

Com os elementos das matrizes calculados, emprega-se a correção dos pesos na fase *backward*. Com isso, nota-se que ocorre um decréscimo do tempo de treinamento da RNA na ordem de 10 a 100 vezes em relação ao tempo de treinamento utilizando o *backpropagation* normal. Entretanto alerta-se para problemas de convergência quando a matriz ***JW*** ser mal condicionada (SILVA; SPATTI; FLAUSINO, 2016).

2.2 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Este item tem como objetivo apresentar os estudos mais relevantes encontrados na literatura, destacando equações, teorias e demais definições de maneira que subsidiem o método proposto apresentado no Capítulo 3.

Inicialmente são apresentados e descritos os tópicos referentes ao escoamento em canais abertos, critérios de dimensionamento de galerias de drenagem e estudos existentes referentes à determinação do limite de deposição de sedimentos.

Ao fim deste item será apresentado as pesquisas mais relevantes em relação a utilização de redes neurais artificiais na determinação do limite de deposição de sedimentos em galerias.

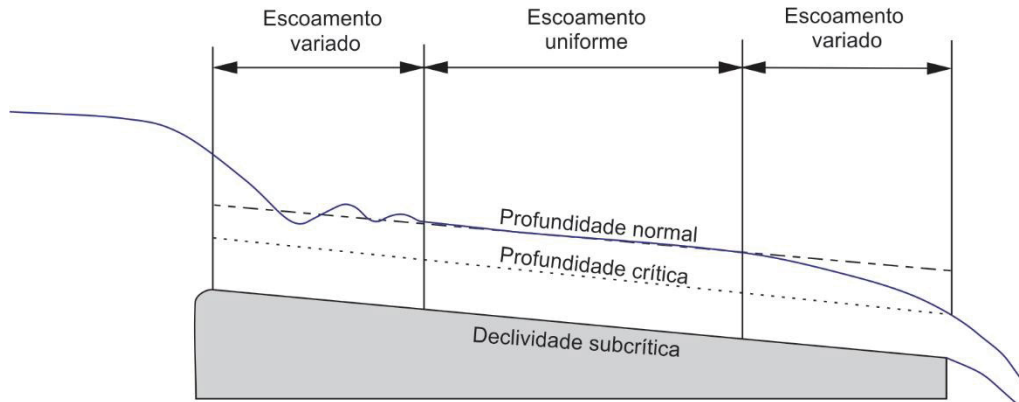
2.2.1 Escoamento uniforme

O escoamento permanente (que não sofre alterações ao longo do tempo) em que a profundidade, a vazão e a velocidade média se mantêm constantes ao longo do percurso é denominado uniforme. Nessas condições, a linha de energia e a superfície do escoamento são paralelas. A condição uniforme não é pontual, é um estado o qual o escoamento tende a assumir em um canal suficientemente longo, sem a existência de interferências que possam modificar as condições do escoamento. Ver Cardoso (1998), French (1987) e Henderson (1966).

Para propósitos de explicação, um canal suficientemente longo com declividade subcrítica é apresentado na Figura 6. Nota-se que a superfície de água é ondulatória na região de transição (escoamento variado), e após um trecho com comprimento suficiente o escoamento torna-se uniforme. A profundidade de água no canal para o

desenvolvimento das condições uniformes é denominada profundidade normal, e a linha pontilhada representa a profundidade crítica no trecho (CHOW, 1959).

FIGURA 6 - ESTABELECIMENTO DA CONDIÇÃO UNIFORME



FONTE: ADAPTADO DE CHOW (1959)

Henderson (1966) apresenta que as leis da resistência são em essência as mesmas tanto para canais abertos quanto para escoamentos em tubos operando com pressões superiores a atmosférica. Entretanto, as condições de contorno são diferentes nos dois casos. No primeiro, a resistência do escoamento no contato com o ar é muito menor do que a resistência oferecida em contato com o material do leito, o que proporciona uma distribuição não uniforme das tensões tangenciais ao longo do perímetro molhado da seção. No segundo caso, as condições de contorno são as mesmas em todo o perímetro molhado do escoamento, ocasionando uma distribuição uniforme das tensões tangenciais ao longo da seção.

Dentre as equações para a determinação da capacidade de escoamento em regime uniforme considerando os efeitos de resistência ao escoamento, encontram-se as equações de Chézy e de Manning. A equação de Chézy é apresentada segundo a equação (31).

$$V = C\sqrt{R_h S} \quad (31)$$

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (32)$$

Onde V é a velocidade em m/s; C é coeficiente de Chézy; A é a área molhada em m²; P é o perímetro molhado em m, onde se desenvolve a tensão tangencial do contorno; R_h é o raio hidráulico em m e S a declividade longitudinal em m/m.

A equação de Manning advém de uma derivação da equação de Chézy, considerando que o coeficiente de Chézy (C) varia com a raiz sexta do raio hidráulico, conforme apresentado na equação (33):

$$C = \frac{R_h^{1/6}}{n} \quad (33)$$

Onde n é o coeficiente de Manning em $m^{-1/3}s$.

Ao substituir a equação (33) em (31) obtém-se a equação de Manning, representada pela equação (34):

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (34)$$

Ao multiplicar pela área de escoamento obtém-se a equação para a vazão:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (35)$$

A vazão em um trecho de geometria constante e condições de escoamento uniformes pode ser determinada pela equação (35), tanto em canais quanto em tubos.

Henderson (1966) relaciona a equação (31) com a equação de resistência em tubos de Darcy:

$$S = \frac{\lambda_s V^2}{D 2g} \quad (36)$$

Onde S é a declividade longitudinal em m/m (constante em escoamentos uniformes), λ_s é o coeficiente de Darcy, l é o comprimento do tubo em m, D é o diâmetro do tubo em m, V é a velocidade em m/s e g a aceleração da gravidade em m/s^2 .

Igualando as equações (31) e (36) é possível obter as seguintes relações:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_s}} \quad (37)$$

$$n = R_h^{1/6} \sqrt{\frac{\lambda_s}{8g}} \quad (38)$$

2.2.2 Galerias de drenagem

As redes de microdrenagem urbanas são constituídas de sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e de queda, caixas de ligação e galerias de drenagem. As galerias possuem a função de conduzir as águas provenientes do escoamento superficial gerado pela ocorrência de uma precipitação, e captado pelas sarjetas e bocas de lobo (ASCE, 2007).

Utiliza-se como premissa nos dimensionamentos de galerias de drenagem que a vazão de projeto irá ocorrer na estrutura em condições onde o escoamento será uniforme e livre. Para isso, comumente é empregada a equação de Manning para a determinação do diâmetro necessário da galeria para o escoamento da vazão de projeto (TOMAZ, 2013).

As dimensões das galerias de águas pluviais variam de acordo com a vazão de projeto, onde comumente são utilizados diâmetros variando na faixa entre 0,30 m a 1,50 m (TUCCI, 2004).

Vongvisessomjai *et al.* (2010) indicam que o dimensionamento das galerias de drenagem está sujeito a dois tipos de cargas: vazões altas e baixas. Em vazões altas as galerias devem proporcionar condições de escoamento a vazão de projeto. Para as vazões baixas, as galerias devem ficar livres da deposição de materiais. De forma a minimizar as intervenções de manutenção na estrutura.

Além da vazão de projeto, existem outros critérios que podem ser utilizados como premissas no dimensionamento das galerias. Tais critérios correspondem a limites inferiores e superiores de velocidades e, critérios de tensão tangencial mínima. O limite de velocidade máximo é adotado para que não haja abrasão excessiva dos tubos da rede, dado que a alta velocidade do escoamento pode colocar os grãos de sedimentos em suspensão em atrito com as paredes do tubo. O limite de velocidade mínima e a tensão tangencial mínima são fixados de maneira a não proporcionar a deposição de sedimentos no fundo das galerias.

De modo a evitar a abrasão dos tubos, a velocidade máxima para o escoamento é da ordem de 3,00 m/s. Entretanto devido a confecção de tubos com materiais melhores essa velocidade máxima limite pode ser maior (MAYS, 1999, 2004).

Velocidades máximas limites equivalentes a 9,00 m/s são recomendadas pela Santa Clara County (2007).

O critério mais utilizado para o dimensionamento das galerias de águas pluviais corresponde à adoção da velocidade mínima, a qual usualmente encontra-se em uma faixa entre 0,75 m/s e 1,00 m/s (OTA, 1999).

Diversas publicações e autores como Fendrich *et al.* (1997), Mays (1999), ENGINEERING, 1994; Tucci (2004) e Tomaz (2013), indicam que a velocidade mínima do escoamento deve estar na faixa entre 0,60 m/s e 0,80 m/s, para que não haja a deposição de sedimentos no fundo dos tubos.

As publicações de Tomaz (2013) e May *et al.* (1996) sugerem que além de a velocidade estar acima da faixa indicada acima, a tensão tangencial mínima deve estar acima de 1,00 N/m² e outros apresentam valores maiores, chegando a 7,00 N/m² para que não haja deposição de sedimentos nas galerias.

Tradicionalmente, esses critérios são estabelecidos para o escoamento em galerias operando com seção plena. Para escoamentos rasos, os critérios de velocidades mínimas e tensões tangenciais mínimas podem não ser suficientes para garantir a característica autolimpante da estrutura. A utilização destes valores mínimos isolados não são bons indicadores para a determinação da condição autolimpante em galerias de drenagem (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE), 2007).

2.3 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM GALERIAS DE DRENAGEM

As galerias de drenagem urbanas recebem uma alta carga de sedimentos sólidos nos escoamentos afluentes. A depender das características dos sedimentos e do escoamento na galeria, a concentração de sedimentos vez pode prejudicar o funcionamento hidráulico da estrutura.

Quando a concentração volumétrica é muito elevada, o sedimento pode depositar no fundo das galerias de drenagem, levando a uma redução da capacidade de descarga da estrutura. A deposição pode ser estudada através da condição incipiente de Shields e do limite de deposição. Neste trabalho será estudado o limite de deposição, ainda que no item subsequente seja dado uma breve introdução à respeito da condição incipiente de Shields.

2.3.1 Condição incipiente de Shields e transporte de sedimentos por arraste

Em leitos móveis, a condição incipiente de movimento é definida através de análises experimentais, onde ao modificar o escoamento identificam-se as partículas de sedimento que começam a se movimentar, e a partir dessas observações ajustam-se equações empíricas que descrevem este fenômeno (RAUDKIVI, 1967).

Shields desenvolveu um estudo clássico para determinar as condições incipientes de movimento em canais aluviais. Henderson (1966) apresenta um desenvolvimento teórico para o estudo de Shields utilizando seis parâmetros fundamentais, sendo eles a tensão tangencial no leito (τ_0), a massa específica do grão (ρ_s), a massa específica do fluido (ρ), o diâmetro do grão (d_{50}), a aceleração da gravidade (g) e a viscosidade do fluido (ν).

Através de uma análise dimensional, é possível agrupar tais grandezas em três números adimensionais, sendo eles:

$$\frac{\tau_0}{\rho g d_{50}}, \frac{\rho_s}{\rho} \text{ e } \frac{d_{50} \sqrt{\tau_0 / \rho}}{\nu}$$

Uma outra maneira de expressar o valor da tensão tangencial é através da velocidade de corte, apresentada na equação abaixo:

$$v^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (39)$$

Ao igualar a equação acima com os números adimensionais e eliminar o termo relativo à tensão tangencial para a primeira e terceira equação, é possível obter as seguintes relações:

$$F_r^* = \frac{v^{*2}}{g d_{50}} \quad (40)$$

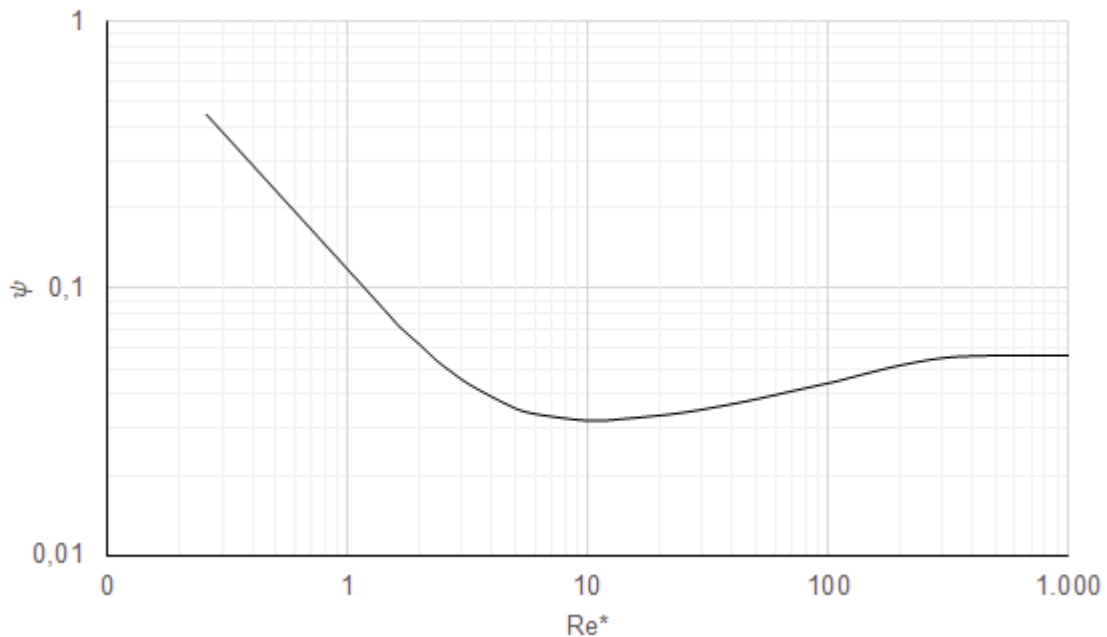
$$S_s = \frac{\rho_s}{\rho} \quad (41)$$

$$R_e^* = \frac{v^* d_{50}}{\nu} \quad (42)$$

A equação (40) apresenta um parâmetro com termos similares ao número de Froude; a equação (41) apresenta a densidade relativa submersa do sedimento e a equação (42) corresponde ao número de Reynolds da partícula.

A Figura 7 apresenta a condição incipiente de Shields obtida da correlação entre $Fr^*/(S_s-1)$ e Re^* analisando resultados experimentais. Nota-se que para a região acima da curva, existe o transporte de sedimentos, e na região abaixo da curva não existe o transporte de sedimentos, sendo assim, pode ser definida como um limite de deposição de sedimentos.

FIGURA 7 – DIAGRAMA DE SHIELDS



FONTE: ADAPTADO DE VANONI (1975)

O parâmetro adimensional referente à tensão tangencial, também apresentado como parâmetro de Shields, para o cálculo da condição incipiente representa a capacidade do escoamento transportar o sedimento, e pode ser escrito como:

$$\psi = \frac{\tau_0}{\rho g d_{50} (S_s - 1)} = \frac{u^{*2}}{g d_{50} (S_s - 1)} \quad (43)$$

Onde τ_0 é a tensão tangencial no fundo do tubo em N/m^2 ; g é a aceleração da gravidade em m/s^2 ; d_{50} é o diâmetro do sedimento em m ; ρ a massa específica do fluido (kg/m^3); S_s é a densidade relativa do sedimento e u^* a velocidade tangencial ou velocidade de corte expressa em m/s .

Graf e Acaroglu (1968) propuseram uma relação entre o parâmetro de transporte e o parâmetro do escoamento, ambos apresentados nas equações (44) e (45), respectivamente. A correlação entre estes dois parâmetros é apresentada na equação (46), a qual foi obtida através de análises teóricas das forças hidrodinâmicas

agindo na partícula. Graf e Acaroglu (1968) comentam ainda que essa relação pode ser utilizada tanto em canais quanto em condutos fechados.

$$\phi = \frac{C_v R_h V}{d_{50}^{3/2} \sqrt{g(S_s - 1)}} \quad (44)$$

$$\varphi_A = \frac{(S_s - 1)d_{50}}{S R_h} \quad (45)$$

$$\phi = 10,39 \varphi_A^{-2,52} \quad (46)$$

Onde C_v é a concentração volumétrica na condição limite para o transporte de sedimentos em ppm; R_h é o raio hidráulico em m; V é a velocidade do escoamento em m/s; d_{50} é o diâmetro médio da partícula em m; g é a aceleração da gravidade em m/s²; S_s a densidade relativa do sedimento e S é a declividade longitudinal do tubo em m/m.

2.3.2 Limite de deposição em galerias de drenagem

Mark *et al.* (1995) citam que o tipo de transporte de sedimentos em galerias de águas pluviais pode variar entre estações secas e úmidas. Sedimentos que durante estações secas são transportados no leito do canal, em estações mais chuvosas podem ser transportados em suspensão, devido à maior frequência e ao maior volume de escoamento nas galerias.

A deposição de partículas sólidas no fundo de galerias de drenagem ocorre devido a própria natureza da variação de condições do escoamento. Quanto mais tempo estas partículas ficam no fundo dos tubos, mais prováveis são as mudanças nas características físicas dos sedimentos (NALLURI; GHANI AB.; EL-ZAEMEY, 1994).

A identificação do limiar do movimento de sedimentos em galerias de drenagem é fundamental para a determinação do limite de deposição. Apesar do mecanismo de transporte de sedimentos em tubos ser ligeiramente diferente do mecanismo para canais aluviais, existe similaridade nos casos onde o tubo apresenta uma camada de sedimento depositado (problema de fundo móvel) (ALVAREZ-HARNANDEZ, 1990).

Ota (1999) comenta que o movimento incipiente é o começo do movimento causado por um campo de fluxo. Devido à dificuldade de determinar este limite, existem vários critérios para a definição dessa condição.

Ab Ghani (1993) cita que existem duas formas tradicionais utilizadas para analisar os dados de transporte de sedimentos em tubos com leito fixo, a análise dimensional e a análise teórica. As análises dimensionais envolvem a geração de modelos onde as equações resultantes são obtidas através de ajustes estatísticos e empíricos. Por outro lado, as análises teóricas se norteiam nas forças agindo na partícula de sedimento, as quais usualmente levam a equações complexas.

O uso de parâmetros adimensionais para determinar a condição limite de transporte de sedimentos é comum dentre os estudos analisados. Entre os parâmetros observados, pode-se citar o parâmetro de transporte (Φ), o parâmetro da tensão tangencial (ψ) e o número de Froude da partícula (F_r^*) adimensionais.

O parâmetro de transporte (Φ) e o parâmetro da tensão tangencial (ψ) são vastamente utilizados no transporte de sedimentos em leitos móveis. Em leitos rígidos, alguns pesquisadores preferem utilizar outros parâmetros, devido à dificuldade em determinar a tensão tangencial no fundo do tubo (OTA, 1999).

2.3.2.1 Limite de deposição

O limite de deposição de sedimentos em galerias é estudado com o objetivo de determinar as condições do escoamento que não proporcionem a deposição de sólidos, determinando assim a característica autolimpante da estrutura.

A condição limite de deposição em galerias passou a ser enfocada depois do trabalho de Novak e Nalluri (1975a). Quando a tensão tangencial é alta o suficiente, o sedimento pode ser transportado nas galerias sem que haja nenhum depósito. Existe, entretanto, um limite da concentração volumétrica dos sedimentos no escoamento a qual os sedimentos começam a depositar. Esse limite corresponde ao limite de deposição. Com o aumento da concentração volumétrica, os sedimentos tendem a depositar em pequenas quantidades, mas continuam o movimento formando dunas. Aumentando ainda mais a concentração volumétrica, uma deposição contínua pode se formar, porém não há um movimento generalizado dos movimentos depositados. Nesse momento ocorre o transporte de sedimentos sobre fundos móveis (OTA, 1999).

Estudos sobre o transporte de sedimentos sobre leitos fixos tem concluído que a velocidade necessária para manter o tubo livre de depósitos de sedimentos depende de uma série de informações, sendo que as mais impactantes correspondem ao raio

hidráulico, forma e rugosidade do tubo, concentração de sedimentos e tamanho do grão, entre outras (MAYERLE; NALLURI; NOVAK, 1991).

Para a determinação do limite de deposição, são utilizadas equações determinadas com análises experimentais, realizadas com partículas de areia não coesivas (MAY *et al.*, 1996). As equações mais utilizadas para a determinação do limite de deposição correspondem às equações de Novak e Nalluri (1975), Mayerle *et al.* (1991), May *et al.* (1996), Ab Ghani (1993), Ota (1999) e Vongvisessomjai *et al.* (2010).

Novak e Nalluri (1975) analisaram a condição do limite de deposição de sedimentos utilizando partículas cujo diâmetro variou entre 0,60mm e 50mm em um tubo de PVC com 152mm de diâmetro e 10,00 m de comprimento. Através da comparação entre o parâmetro de transporte e a tensão tangencial adimensional foi possível obter a equação (47).

$$\phi = 11,6\psi_A^{-2,04} \quad (47)$$

Mayerle *et al.* (1991) analisaram o transporte de sedimentos utilizando areia graduada com diâmetro dos grãos variando entre 0,50mm e 8,74mm com densidade média de 2.550 kg/m³ em um tubo de 152mm de diâmetro e 20,50m de comprimento. Em seu estudo, Mayerle *et al.* (1991) buscaram definir a máxima taxa de transporte possível de sedimentos ao longo de um tubo limpo sem deposição, ou seja o transporte de sedimentos no limite de deposição. Como resultado de seu estudo, apresentaram equações que determinam a velocidade crítica do escoamento como função do tamanho do grão, densidade, concentração e as características do tubo. A equação (48) apresenta a determinação da velocidade crítica sem a consideração do coeficiente de atrito no fundo do tubo:

$$\frac{V_c}{\sqrt{g d_{50} (S_s - 1)}} = 4,32 C_v^{0,23} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{-0,68} \quad (48)$$

Ao substituir as equações (44) e (48) na equação (47) pode-se obter um valor para a declividade no limite de deposição:

$$S = 0,203 (S_s - 1) C_v^{0,65} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{0,351} \left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \right)^{-0,65} \quad (49)$$

Ao comparar a equação (47), com a equação (46), Novak e Nalluri (1975) concluem que os resultados fornecidos entre ambas as equações são quase idênticos para valores de $\phi > 1$, mostrando que a condição limite de deposição em um tubo, como é o caso das galerias de drenagem, pode ser analisada através da mesma relação empregada para leitos móveis ($\phi - \psi_A$).

Mayerle *et al.* (1991) apresentaram também a mesma equação, porém com a consideração do coeficiente de atrito de uma forma iterativa, utilizando as equações abaixo a fim de avaliar a velocidade e o coeficiente de atrito no limite de deposição.

$$\frac{V_c}{\sqrt{g d_{50} (S_s - 1)}} = 14,43 D_{gr}^{-0,14} C_v^{0,18} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{-0,56} \lambda_s^{0,18} \quad (50)$$

$$\frac{k_s - k}{R_h} = 0,013 D_{gr}^{0,24} C_v^{0,40} \quad (51)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_s}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda_s}} + \frac{k}{14,8 R_h} \right] \quad (52)$$

$$D_{gr} = \left(\frac{g (S_s - 1)}{v^2} \right)^{1/3} d_{50} \quad (53)$$

Onde k_s é a rugosidade equivalente com sedimentos no escoamento em m; k é altura de rugosidade em m e D_{gr} o diâmetro adimensional da partícula.

Ao analisar as equações, é possível afirmar que a velocidade autolimpante dos tubos, isto é no limite de deposição, decresce com o tamanho da partícula do sedimento, aumenta conforme o raio hidráulico e a concentração volumétrica, aumenta com o aumento do coeficiente de atrito na presença de sedimentos no escoamento (MAYERLE; NALLURI; NOVAK, 1991).

Ab Ghani (1993) realizou testes em tubos com diâmetros de 154mm e 305mm, ambos com comprimento de 20,50m, e um tubo com 450mm de diâmetro com comprimento de 21,00m. A rugosidade do tubo de 305mm de diâmetro foi definida utilizando areia com diâmetro equivalente variando entre 0,50mm e 1,00mm. Para as análises nos tubos de 154mm e 305 mm de diâmetro, os sedimentos utilizados tiveram diâmetros variando entre 0,50mm e 10,00mm de material não coesivo e uniformemente distribuídos, com densidades variando entre 2530 kg/m³ e 2593 kg/m³. Já para as análises feitas no tubo com 450mm de diâmetro os sedimentos apresentaram um diâmetro equivalente a 0,72mm e densidade de 2.620kg/m³.

Considerando os resultados obtidos experimentalmente em conjunto com os resultados obtidos por Mayerle *et al.* (1991), May (1993) e Loveless (1991), Ghani (1993) apresentou uma equação que procura abranger um maior número de observações com o objetivo de generalizar o fenômeno do transporte de sedimentos no limite de deposição, sendo ela:

$$\frac{V_c}{\sqrt{g d_{50} (S_s - 1)}} = 3,08 C_v^{0,21} D_{gr}^{-0,09} \left(\frac{R_h}{d_{50}} \right)^{0,53} \lambda_s^{-0,21} \quad (54)$$

Conjuntamente com a equação (54), Ab Ghani (1993) apresentou a equação de forma que seja possível o cálculo do fator de atrito com o sedimento. Utilizando os dados obtidos em seus experimentos e nos experimentos dos autores supracitados a equação abaixo pôde ser obtida:

$$\lambda_s = 1,13 \lambda_0^{0,98} C_v^{0,02} D_{gr}^{0,01} \quad (55)$$

Onde λ_0 corresponde ao coeficiente de atrito para escoamento de água sem sedimentos.

May *et al.* (1996) apresentaram uma equação para a definição do limite de deposição e da velocidade limite, necessária para iniciar o movimento, as quais são apresentadas nas equações (56) e (57).

$$C_v = 3,03 \times 10^{-2} \left(\frac{D^2}{A} \right) \left(\frac{d_{50}}{D} \right) \left[1 - \frac{V_t}{V_c} \right]^4 \left[\frac{V_c^2}{g d_{50} (S_s - 1)} \right]^{1,5} \quad (56)$$

$$V_t = 0,125 [g (S_s - 1) d_{50}]^{0,50} \left[\frac{y}{d_{50}} \right]^{0,47} \quad (57)$$

As equações de May *et al.* (1996) foram ajustadas utilizando os resultados de 332 experimentos laboratoriais, onde os diâmetros dos tubos variaram entre 77 a 450mm, os diâmetros das partículas de sedimento variaram entre 160 a 8300µm, a relação entre a profundidade e o diâmetro do tubo variou entre 0,16 a 1,00, as velocidades entre 0,24 e 1,50 m/s e a concentração de sedimentos entre 2,3 a 2110 ppm.

Ota (1999) fez diversas análises experimentais em dois tubos. O primeiro tubo com 225mm de diâmetro e 25 m de comprimento com uma rugosidade de concreto, foi utilizado para estudar o transporte de sedimentos com diâmetros variando entre 0,30mm a 4,00mm com densidade entre 2.605 kg/m³ e 2.658 kg/m³. O segundo tubo,

com diâmetro de 305mm e comprimento de 20,50m, foi revestido com uma rugosidade de areia de 1,00mm. Os sedimentos utilizados nesse tubo corresponderam a diâmetros variando entre 0,60mm e 4,00mm com densidade de 2.589 kg/m³ a 2.659 kg/m³. Todos os testes executados no limite de deposição do material foram medidos com o tubo parcialmente cheio, após fixar a condição de escoamento uniforme.

Ota (1999), diferentemente dos outros pesquisadores, procurou uma abordagem com maior embasamento teórico. Dentre as análises executadas, Ota (1999) demonstra que a tensão tangencial média do escoamento não é a mesma atuante no fundo do tubo e, que o critério de Shields para a análise do transporte de sedimentos em leitos rígidos é válido quando o material do leito da seção transversal possui rugosidade semelhante ao do sedimento transportado pelo escoamento.

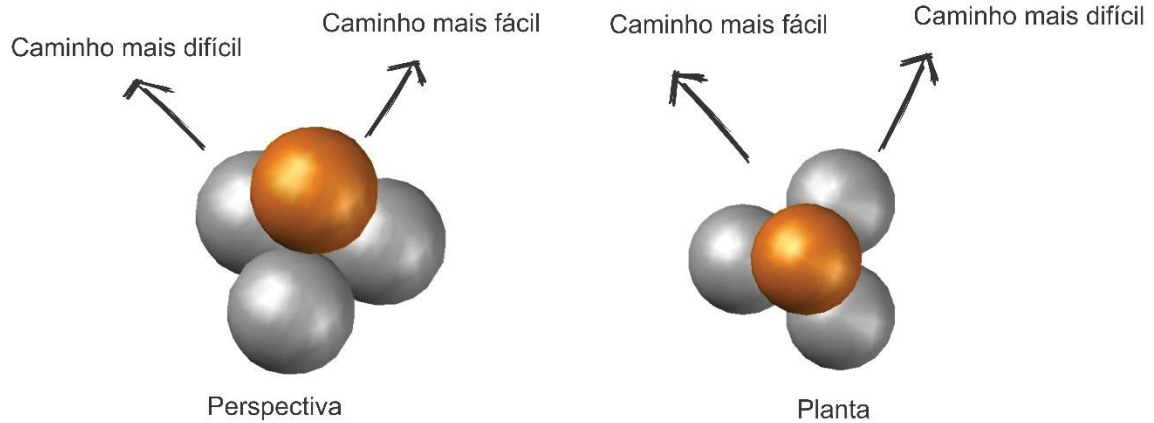
Em relação a distribuição da tensão tangencial no fundo do tubo, Ota (1999) apresentou que para escoamentos sob pressão ou para escoamentos rasos, o valor da tensão tangencial no fundo do tubo corresponde ao valor da tensão tangencial média do escoamento. Entretanto, para condições de escoamento diferentes destas, notou-se que o valor da tensão tangencial no fundo do tubo varia conforme a equação (58).

$$\xi = \frac{\tau}{\tau_0} = \left(\frac{u^*}{V^*}\right)^2 = f\left(\frac{y}{D}\right) \quad (58)$$

Onde τ_0 é a tensão tangencial no fundo do tubo; τ é a tensão tangencial média do escoamento tubo; u^* é a velocidade de corte no fundo do tubo em m/s, V^* é a velocidade de corte média do escoamento, y é a profundidade do escoamento em m e D o diâmetro do tubo em m.

Em relação à diferença entre a rugosidade do tubo e o diâmetro do grão, Ota (1999) propôs uma relação entre o diâmetro da partícula e a altura de rugosidade da parede $(d_{50}/k)^{2/3}$. A conclusão da utilização da relação $(d_{50}/k)^{2/3}$ foi possível ao considerar um grão de sedimento com determinado diâmetro repousando sobre um vão formado por três outras partículas, ilustrado na Figura 8.

FIGURA 8 - DIREÇÕES DE ROLAMENTO DO GRÃO



FONTE: ADAPTADO DE OTA (1999)

Uma análise clássica do transporte de sedimentos em leitos aluviais para a determinação do limite de deposição consiste em analisar a relação entre o parâmetro de transporte e a tensão tangencial adimensional. Ota (1999) executou essa análise em seus estudos. Para a determinação do parâmetro de transporte, Ota (1999) utilizou a equação (44). Para o cálculo do parâmetro referente à tensão tangencial, Ota (1999) utilizou a compensação da tensão tangencial através da equação (59), baseado no ângulo de repouso do sedimento sobre a rugosidade do tubo:

$$\psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{\tau_0}{\rho g d_{50} (S_s - 1)} \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (59)$$

Ao relacionar o parâmetro de transporte como uma função da tensão tangencial adimensional compensada, Ota (1999) determinou o limite de deposição de sedimentos. Para essa determinação, Ota (1999) utilizou os resultados apresentados por Ghani (1993), Mayerle *et al.* (1991) e May (1993). A partir da correlação destes dados, Ota (1999) apresentou uma tendência razoável entre os dois parâmetros representada pela equação (60).

$$\phi = 2,9 \left[\psi (d/k)^{2/3} \right]^{2,7} \quad (60)$$

A equação (60) é válida para o transporte de sedimentos no fundo de galerias cuja a rugosidade do material equivalente a 0,70 mm para concreto e 0,35 mm para plásticos. Devido à base física utilizada para determinar a equação acima, a mesma pode ser adequada a extrapolações para dados além da faixa analisada experimentalmente (OTA, 1999).

Para facilitar o uso da equação (60), Ota (1999) reescreveu esta equação nas seguintes formas simplificadas, válidas para o limite de deposição:

$$\frac{V_c}{\sqrt{g(S_s - 1)d_{50}}} = 0,785\xi^{-0,614}C_v^{0,227}\left(\frac{R_h}{d_{50}}\right)^{0,227}\left(\frac{k}{d_{50}}\right)^{0,409}\left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}}\right)^{-1,178} \quad (61)$$

$$S = 0,616(S_s - 1)\xi^{-1,23}C_v^{0,455}\left(\frac{d_{50}}{R_h}\right)^{0,545}\left(\frac{k}{d_{50}}\right)^{0,818}\left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}}\right)^{-0,455} \quad (62)$$

$$C_v = 2,9\xi^{2,7}\left(\frac{R_h}{d_{50}}\right)^{0,545}\left(\frac{S}{(S_s - 1)}\right)^{2,2}\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}}\left(\frac{d_{50}}{k}\right)^{1,8} \quad (63)$$

Vongvisessomjai *et al.* (2010) apresentaram uma série de experimentos através de dois tubos de PVC com diâmetros de 100 e 150 mm e com 22 m de extensão. A parte superior do cano foi removida para que a superfície livre do escoamento estivesse em contato direto com a pressão atmosférica. Três diâmetros uniformes de material não coesivo foram usados no estudo: 0,20 mm, 0,30 mm e 0,43 mm.

Os experimentos realizados por Vongvisessomjai *et al.* (2010) foram sintetizados em equações semi-empíricas entre o número de froude densimétrico. Além disso, resultados indicando a velocidade mínima e a tensão tangencial no leito do tubo para o limite de deposição foram comparados com a mínima velocidade e tensão tangencial para colocar em movimento os sedimentos já depositados.

Vongvisessomjai *et al.* (2010) verificam que o número de Froude densimétrico pode ser expresso em função da concentração volumétrica e da relação entre o diâmetro da partícula e o raio hidráulico e a relação entre o diâmetro da partícula e a profundidade de água no tubo:

$$\frac{V_c}{\sqrt{g(S_s - 1)d_{50}}} = f\left(\frac{d_{50}}{y} \text{ ou } \frac{d_{50}}{R_h}, C_v\right) \quad (64)$$

Vongvisessomjai *et al.* (2010) observaram que a velocidade crítica para a não deposição são sempre inferiores aos valores de velocidade para colocar em movimento o sedimento já depositado. Similarmente, os valores da tensão tangencial calculados quando a deposição se inicia é sempre menor ao valor da tensão tangencial necessária para colocar em movimento as partículas já depositadas. Com os resultados experimentais, Vongvisessomjai *et al.* (2010) executou uma regressão

ajustando as seguintes equações que determinam o número de Froude densimétrico para o critério de não deposição:

$$\frac{V_c}{\sqrt{g(S_s - 1)d_{50}}} = Fr^* = 4,31 C_v^{0,226} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{-0,616} \quad (65)$$

$$\frac{V_c}{\sqrt{g(S_s - 1)d_{50}}} = Fr^* = 3,57 C_v^{0,210} \left(\frac{d_{50}}{y} \right)^{-0,542} \quad (66)$$

Onde R_h é o raio do tubo em m e y a profundidade do escoamento em m.

Ao comparar os resultados obtidos experimentalmente e através das equações apresentadas acima, Vongvisessomjai *et al.* (2010) demonstram que as equações apresentadas possuem grau satisfatório de confiabilidade e apresentam uma forma simples de fácil aplicação.

2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Exaustivos experimentos foram feitos com o objetivo de determinar uma equação a qual generalizasse o comportamento do limite de deposição no fundo de galerias de águas pluviais por diversos autores.

Como alternativa as equações propostas apresentadas no item 2.3.2.1, técnicas de computação flexível, como redes neurais artificiais, computação evolucionária, logica fuzzy e algoritmos genéticos estão sendo aplicados (AB GHANI; AZAMATHULLA, 2011).

As redes neurais artificiais têm sido aplicadas em muitos ramos da ciência. Essas aplicações têm se tornado uma ferramenta poderosa para engenheiros hidráulicos e ambientais nos propósitos de dimensionamentos e práticas de gerenciamento (NAGY; WATANABE; HIRANO, 2002).

Nagy *et al.* (2002), estimaram a descarga total de sedimentos em córregos e rios naturais. Várias tentativas foram executadas com o objetivo de determinar uma arquitetura adequada para a rede. A rede neural proposta foi treinada com variáveis selecionadas de dados experimentais, e validado com um grande número de dados de vários rios.

Através de uma análise das equações existentes para a caracterização do fenômeno, Nagy *et al.* (2002) descreveram:

$$C_s = f\left(\psi, \frac{V}{u^*}, \frac{\omega}{u^*}, S, \frac{y}{d_{50}}, F, Re^*, \frac{y}{B}\right) \quad (67)$$

Onde C_s é a relação entre vazão de sólidos e a vazão total, F é o número de froude, ω é a velocidade de queda em m/s, B a largura base do canal, d_{50} é o diâmetro da partícula em m e Re^* é o número de Reynolds da partícula.

Com o treinamento da rede utilizando as variáveis apresentadas na (67), Nagy *et al.* (2002) identificou que alguns parâmetros podem confundir a rede, levando a um mau treinamento, ou não representar um dado relevante para a caracterização do problema. Através dessa consideração Nagy *et al.* (2002) reduziu as variáveis analisadas para:

$$C_s = f\left(\psi, \frac{\omega}{u^*}, \frac{y}{d_{50}}, F, Re^*, \frac{y}{B}\right) \quad (68)$$

Por fim, Nagy *et al.* (2002) comparam o resultado da rede neural treinada com os resultados de equações propostas, concluindo que o desempenho da rede neural é relativamente melhor do que o desempenho das equações, ao analisar um conjunto composto por 486 dados.

Ab Ghani e Azamathulla (2011) apresentaram um modelo com base em algoritmos genéticos capaz de reproduzir os dados observados por Ghani (1993) e Vongvisessomjai *et al.* (2010). Ao todo o modelo proposto foi alimentado com 220 dados, onde desses 220, 165 dados experimentais foram utilizados na fase de treinamento e 55 foram utilizados na fase de simulação e validação do modelo.

Em seu trabalho Ab Ghani e Azamathulla (2011) realizaram uma análise de sensibilidade dos parâmetros de entrada. Essa análise apresentou que o número de froude densimétrico foi melhor calculado quanto o modelo foi alimentado pelas variáveis equivalentes ao diâmetro adimensional da partícula, concentração volumétrica, relação entre diâmetro do sedimento e o raio do tubo e o parâmetro de Darcy. Analisando a resposta do modelo com essas variáveis para o conjunto de treinamento determinado, observou-se um coeficiente de determinação equivalente à 0,97 e erro médio de 0,02456. Para o conjunto de simulação o coeficiente de determinação e o erro médio corresponderam a 0,94 e 0,06566, respectivamente.

Ab Ghani e Azamathulla (2011) indicaram que esse seria um modelo robusto para a previsão do transporte de sedimentos por arraste em galerias de drenagem.

O uso de Redes Neurais Artificiais para a determinação do transporte de sedimentos em galerias foi estudado por Ebtehaj e Bonakdari (2013). Ebtehaj e Bonakdari (2013) utilizaram como conjunto de treinamento 109 experimentos extraídos da publicação de Ab Ghani (1993), e para simulações 14 experimentos, também retirados da pesquisa de Ab Ghani (1993). Além desses conjuntos Ebtehaj e Bonakdari (2013) utilizaram o conjunto de dados obtidos por Vongvisessomjai *et al.* (2010) para uma segunda simulação da rede neural.

Para a composição dos conjuntos de treinamento e de simulação, Ebtehaj e Bonakdari (2013) destacam que os dados necessitam ser normalizados antes da fase de aprendizagem da mesma. Além disso, destacam também o conjunto de treinamento deve conter os valores de máximos e mínimos de cada variável.

Assim como Nagy *et al.* (2002), Ebtehaj e Bonakdari (2013) avaliaram a influência das variáveis de entrada na rede neural relacionando o desempenho. Os 5 modelos analisados por Ebtehaj e Bonakdari (2013) estão apresentados na Tabela 1.

Após o treinamento da rede neural e seleção do melhor modelo Ebtehaj e Bonakdari (2013) apresentaram os conjuntos de simulação à rede (um com dados de Ab Ghani (1993) e outro com dados de Vongvisessomjai *et al.* (2010)).

Com os resultados fornecidos pela rede neural, Ebtehaj e Bonakdari (2013) concluíram que o desempenho da rede neural para interpolações é mais satisfatório do que o uso de equações determinadas através de regressão, de modo que as redes se aproximaram mais dos resultados observados experimentalmente.

TABELA 1 – MODELOS ANALISADOS POR EBTEHAJ E BONAKDARI (2013)

Variável dependente	Variáveis independentes	Coefficiente de determinação (R ²)	Desvio padrão
$\frac{V_c}{\sqrt{(S_s - 1)gd_{50}}}$	$\frac{d_{50}}{R_h}, \lambda_s, D_{gr}, C_v$	0,98	0,0011
$\frac{V_c}{\sqrt{(S_s - 1)gd_{50}}}$	$\frac{d_{50}}{R_h}, \lambda_s, D_{gr}$	0,94	0,037
$\frac{V_c}{\sqrt{(S_s - 1)gd_{50}}}$	$\frac{d_{50}}{R_h}, \lambda_s, C_v$	0,95	0,067
$\frac{V_c}{\sqrt{(S_s - 1)gd_{50}}}$	$\frac{d_{50}}{R_h}, D_{gr}, C_v$	0,92	0,07
$\frac{V_c}{\sqrt{(S_s - 1)gd_{50}}}$	λ_s, D_{gr}, C_v	0,97	0,052

FONTE: EBTEHAJ E BONAKDARI (2013)

Onde V_c é a velocidade no limite da não deposição em m/s, D_{gr} é o diâmetro adimensional da partícula e C_v é a concentração volumétrica em ppm.

Safari *et al.* (2013) apresentaram uma comparação entre três tipos de arquitetura de redes neurais artificiais para a determinação do limite de deposição, sendo elas: Redes de função de base radial, redes de regressão generalizada e a *perceptron* multicamadas.

Os dados utilizados nas análises de Safari *et al.* (2013) corresponderam aos experimentos realizados por Loveless (1992). Foram utilizados 60 dados experimentais para compor o conjunto de treinamento e 17 dados para a simulação das redes. Todos os dados foram adimensionalizados e normalizados entre 0 e 1.

Para a determinação do limite de não deposição, Safari *et al.* (2013) utilizaram a determinação da velocidade crítica do escoamento como variável independente.

Através da comparação dos resultados obtidos pelas redes neurais artificiais utilizando o conjunto de simulação, Safari *et al.* (2013) concluíram que a rede que apresentou o maior coeficiente de determinação (R²) e o menor desvio padrão correspondeu a arquitetura do tipo *perceptron* multicamadas.

Ebtehaj *et al.* (2014) propuseram um critério de dimensionamento considerando o limite de deposição, através da aplicação de equações mais simples. Para a obtenção destas equações, Ebtehaj *et al.* (2014) utilizou os dados de Ab Ghani (1993) e Vongvisessomjai *et al.* (2010). Para validar a acurácia dos testes apresentados

foram utilizados os experimentos de Ota e Nalluri (1999). Para a obtenção das equações foi utilizado o modelo MINITAB. As equações correspondentes a determinação do limite de não deposição do sedimento correspondem a:

$$Fr = \frac{V_c}{\sqrt{gd_{50}(s-1)}} = 4,49C_v^{0,21} \left(\frac{d_{50}}{R_h}\right)^{-0,54} \quad (69)$$

Ebtehaj *et al.* (2014), ao comparar os resultados das equações com os experimentos de Ota e Nalluri (1999), observaram que o maior erro correspondeu a 9% e o menor a 0,5%, indicando uma boa aderência das equações ao conjunto de testes.

Ebtehaj e Bonakdari (2016) propuseram outra equação para avaliar a velocidade no limite de deposição através do número de froude densimétrico. Para determinar essa equação foi utilizado o *Group Method of Data Handling* (GMDH). Para a obtenção desta equação, foram utilizados os dados experimentais de Ab Ghani (1993) e Ota *et al.* (1999). A equação obtida no estudo corresponde a:

$$Fr = \frac{V_c}{\sqrt{gd_{50}(s-1)}} = 1,575C_v^{0,168} \left(\frac{d_{50}}{R_h}\right)^{-0,594} \left(\frac{d_{50}}{D}\right)^{-0,594} \lambda_s^{0,171} (\cos(V_c))^{-0,395} \quad (70)$$

Ebtehaj e Bonakdari (2016) concluíram que a equação obtida a partir dessa metodologia apresenta um desvio menor do que das equações ajustadas por regressão.

Ebtehaj *et al.* (2016) apresentaram um modelo de rede neural de base radial associado a uma árvore de decisões para prever o limite de deposição em galerias de drenagem. Para o treinamento das redes, foram utilizados 218 dados experimentais de Ab Ghani (1993), Ota e Nalluri (1999) e Vongvisessomjai *et al.* (2010). Esses dados foram separados em dois conjuntos. O conjunto de teste, o qual possuiu 70% dos dados, selecionados aleatoriamente, e o conjunto de simulação com o restante dos dados.

O método híbrido proposto consistiu em aplicar uma árvore de decisões para separar os dados do conjunto de treinamento grupos. Após o agrupamento dos dados, divide-se a rede neural na mesma quantidade. O número de neurônios em cada camada da rede foi determinado através de tentativa e erro, de forma a avaliar possíveis ocorrências de *overfitting* (EBTEHAJ; BONAKDARI; ZAJI, 2016). Além do modelo híbrido com árvore de decisões, Ebtehaj *et al.* (2016) apresentaram o

desempenho de um segundo modelo híbrido associando uma rede neural com uma nuvem de partículas. A utilização da computação evolucionária em conjunto com as redes de função de base radial é norteadas com o objetivo de que a nuvem de partículas ajuste os parâmetros da rede com função de base radial.

Ebtehaj *et al.* (2016) concluíram que a utilização do modelo híbrido com rede neural artificial de base radial associado a uma árvore de decisões apresenta resultados superiores à utilização unicamente da rede neural isolada, bem como da rede associada a uma nuvem de partículas.

Wan Mohtar *et al.* (2018) analisaram a condição incipiente de movimento das partículas em galerias de drenagem utilizando redes neurais artificiais com duas arquiteturas diferentes: *perceptron* multicamadas e redes de função de base radial. A velocidade crítica do escoamento foi analisada ao variar a profundidade do escoamento, tamanho do grão e profundidade de sedimento depositada no fundo do tubo. As redes construídas foram compostas de funções de ativação do tipo tangente sigmoidal e linear.

Wan Mohtar *et al.* (2018) utilizaram experimentos de 5 publicações, totalizando 263 dados. Os dados utilizados foram adimensionalizados e normalizados entre 0 e 1. Após a normalização dos dados experimentais, Wan Mohtar *et al.* (2018) separaram esses dados em três grupos, treinamento, validação e simulação, onde cada um destes grupos foi formado por 158, 39 e 66 dados, respectivamente, selecionados aleatoriamente.

Ao avaliar as duas arquiteturas, Wan Mohtar *et al.* (2018) concluíram que a rede do tipo *perceptron* multicamadas possui uma capacidade de generalização superior do que as redes com funções de base radial, estimando valores satisfatórios da velocidade limite tanto superior quanto inferior.

Além das análises entre dois tipos de arquiteturas de redes, Wan Mohtar *et al.* (2018) apresentaram uma comparação com as equações obtidas através de regressão com base em experimentos, concluindo que a rede apresenta um desempenho melhor do que as equações analisadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo estão apresentados os principais critérios, parâmetros e premissas utilizados para o desenvolvimento desta dissertação, envolvendo a determinação dos conjuntos de treinamento, a escolha das arquiteturas de RNA, dos conjuntos de simulações e os critérios utilizados para avaliar o desempenho das Redes Neurais Artificiais.

As etapas supracitadas são apresentadas e detalhadas ao longo deste capítulo, de forma a promover um completo entendimento das análises executadas e dos resultados obtidos apresentados no capítulo 4.

A escolha do tipo de rede neural e do algoritmo de aprendizagem se norteou em razão da natureza do problema ser do tipo entrada-saída. Desta forma, optou-se pela rede *Perceptron* Multicamadas devido à capacidade em reconhecer e reproduzir padrões e funções matemáticas.

Inicialmente as redes foram treinadas com o algoritmo *backpropagation*. Entretanto o mesmo apresentou um tempo de execução longo e elevado custo computacional. Devido a isso, optou-se pelo algoritmo de aprendizagem *Levenberg-Marquardt*, o qual apresentou uma convergência relevantemente mais rápida.

Em todas as fases tanto de treinamento quanto de simulação das redes, foi utilizado o *software* MATLAB.

3.1 CONJUNTOS DE TREINAMENTO

Após a definição da arquitetura e rotina de aprendizagem, definiram-se os conjuntos de treinamento das redes. Os conjuntos de treinamento da rede devem conter um número de dados e informações em quantidade satisfatória e o mais abrangente possível, de forma que a quantidade e a variação dos dados no conjunto sejam suficientes para a caracterização do fenômeno que se deseja avaliar. Este conjunto deve possuir os dados que alimentarão a primeira camada da rede e, associados a estes, os dados de saída que deverão ser produzidos pela rede.

A determinação do conjunto de treinamento é uma das etapas de maior importância na fase de aprendizado da rede neural artificial. Caso o conjunto de

treinamento não represente suficientemente bem o fenômeno, a rede não irá extrair informações suficientes, e levará à produção de resultados não satisfatórios na fase de simulação. Outro ponto que deve-se atentar é em relação a validade dos dados do conjunto de treinamento, uma vez que se apresentar dados errados à rede, a mesma irá reproduzir esses erros na fase de simulação, não proporcionando um bom resultado.

Para as redes do tipo *Perceptron* Multicamadas os conjuntos de treinamento são formados por p padrões de entrada que podem ser compostos de n variáveis, onde cada conjunto dessas n variáveis está associado uma única resposta de dimensão m . Essa relação está apresentada através da equação (71).

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_{1,1} \\ u_{2,1} \\ u_{3,1} \\ \vdots \\ u_{p,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_{1,1} & n_{1,2} & n_{1,3} & n_{1,4} & \cdots & n_{1,j} \\ n_{2,1} & n_{2,2} & n_{2,3} & n_{2,4} & \cdots & n_{2,j} \\ n_{3,1} & n_{3,2} & n_{3,3} & n_{3,4} & \cdots & n_{3,j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{p,1} & n_{p,2} & n_{p,3} & n_{p,4} & \cdots & n_{p,j} \end{bmatrix} \quad (71)$$

Onde \mathbf{U} é a matriz que contém os padrões de entrada da rede $u_{1,1}, u_{2,1}, u_{3,1}, u_{p,1}$, os quais representam os dados de entrada $n_{p,j}$ associados à cada padrão de entrada.

3.2 MÉTODO EMPREGADO PARA O TREINAMENTO DE RNA PARA MODELAR A EQUAÇÃO DE MANNING

3.2.1 Definição do conjunto de treinamento para as RNA destinadas ao aprendizado da equação de Manning

O conjunto de treinamento destinado ao aprendizado da equação de Manning contemplou 500 padrões de entrada. Cada padrão é formado por quatro variáveis de entrada (Coeficiente de Manning, Área, Raio hidráulico e Declividade longitudinal) as quais estão associadas a um único dado de saída que é a Vazão. Desta forma, é possível reescrever a equação (71) como:

$$\begin{aligned} u_{1,1} &= Q_1 = f(n_1, A_1, R_{h1}, S_1) \\ u_{2,1} &= Q_2 = f(n_2, A_2, R_{h2}, S_2) \end{aligned} \quad (72)$$

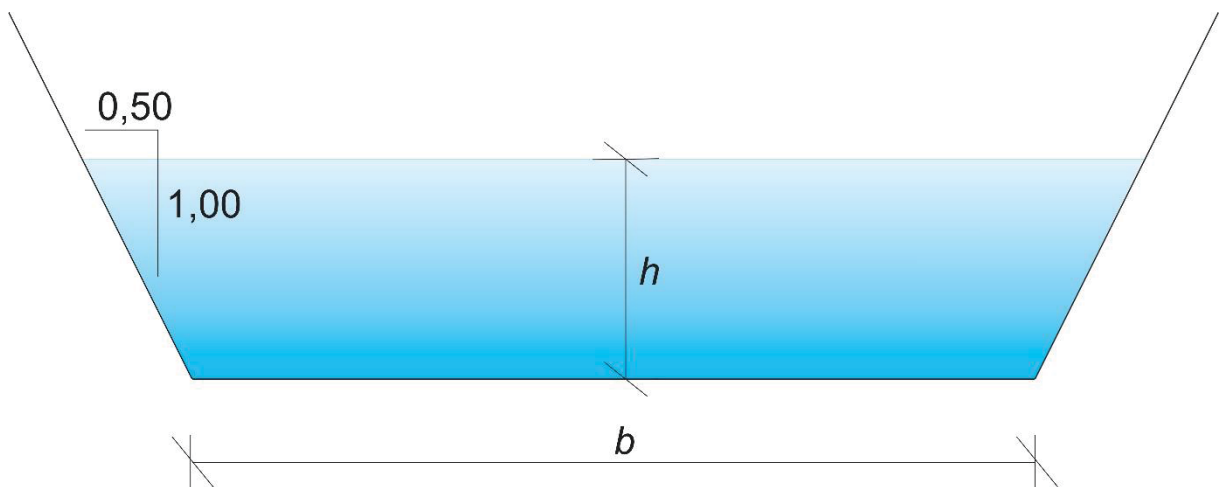
$$\begin{aligned}
 u_{3,1} &= Q_3 = f(n_3, A_3, R_{h3}, S_3) \\
 &\vdots \\
 u_{500,1} &= Q_{500} = f(n_{500}, A_{500}, R_{h500}, S_{500})
 \end{aligned}$$

Onde Q_p é a vazão do padrão de treinamento p , em m^3/s ; n_p é o coeficiente de Manning do padrão de treinamento p , em $\text{m}^{1/3}/\text{s}$; A_p é a área do padrão de treinamento p , em m^2 ; $R_{h,p}$ é o raio hidráulico do padrão de treinamento p , em m e S_p é a declividade longitudinal do padrão de treinamento p , em m/m .

Como premissa para a determinação dos dados contidos no conjunto de treinamento, definiu-se um escoamento uniforme em um canal trapezoidal.

A seção considerada do canal possuiu base e lâmina de água variável para cada padrão do conjunto de treinamento, de forma que através da variação e da combinação dessas duas variáveis fosse possível o cálculo da área e do raio hidráulico, considerando uma inclinação lateral de 1,00V:0,50H. A Figura 9 apresenta uma seção típica utilizada para a determinação desses valores.

FIGURA 9 – SEÇÃO TÍPICA DA SEÇÃO TRANSVERSAL UTILIZADA



FONTE: O AUTOR (2018)

Com a utilização do software Excel gerou-se 500 dados uniformemente distribuídos de base (b) e da lâmina d'água (h), que serviram para compor a área e o raio hidráulico de todos os 500 padrões do conjunto de treinamento.

Com a determinação da área e do raio hidráulico, foram gerados mais 500 dados aleatórios, desta vez correspondendo ao coeficiente de Manning e a declividade longitudinal. Com isso os 500 padrões de entrada do conjunto de treinamento ficaram completos.

Para a determinação do valor da vazão, variável de saída associada a cada padrão de entrada, foi utilizada a equação (35).

Os dados determinados neste conjunto de treinamento estão apresentados no Apêndice 1 – Conjuntos utilizados para avaliação da capacidade de extrapolação e interpolação da equação de Manning.

Os valores de máximo, mínimo, média e desvio padrão de cada variável utilizada estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – VARIAÇÕES DOS PARÂMETROS DO CONJUNTO DE TREINAMENTO

	Base (m)	Lâmina de água (m)	Coefficiente de Manning	Área (m ²)	Raio Hidráulico (m)	Declividade Longitudinal (m/m)	Vazão (m ³ /s)
Máximo	10,00	4,99	0,33	58,61	2,86	0,00998	394,31
Mínimo	1,00	0,13	0,01	0,45	0,13	0,00004	0,05
Média	5,68	2,53	0,17	18,55	1,41	0,00518	21,03
Desvio padrão	2,60	1,43	0,09	13,87	0,69	0,00279	39,25

FONTE: O AUTOR (2018)

Ao analisar os valores dos coeficientes de Manning adotados no conjunto de treinamento nota-se que o valor máximo ultrapassou os valores corriqueiramente utilizados e recomendados. Porém isso não invalida as análises aqui apresentadas, de maneira que a determinação da equação de Manning utilizando uma RNA tem como objetivo principal a verificação da capacidade de aprendizado do método e suas limitações. Dessa análise serão confrontados os dados obtidos pela RNA e os dados obtidos a partir da utilização da equação de Manning, desconsiderando o rigor da interpretação física do coeficiente, e analisando a resposta puramente matemática da equação.

Após a definição do conjunto de entrada, executou-se uma ponderação linear dos dados previamente definidos, de forma que os valores de cada variável fossem adimensionalizados e delimitados entre 0,30 e 0,60.

Esta ponderação é necessária uma vez que há a necessidade adequar os valores dos padrões de entrada dentro do domínio da função de ativação utilizada na rede neural artificial. A equação (73) corresponde à relação utilizada para a ponderação desses dados.

$$x_{pond} = \frac{(x_i - x_{\min}) \times (0,60 - 0,30)}{(x_{\max} - x_{\min})} + 0,30 \quad (73)$$

Onde x_{pond} corresponde ao valor do padrão de entrada ponderado (coeficiente de Manning, área, raio hidráulico, declividade longitudinal ou vazão), x_i a variável correspondente ao i -ésimo padrão de entrada, $x_{máx}$ ao máximo valor da variável observado nos pontos do conjunto de treinamento das redes e x_{min} correspondente ao mínimo valor da variável nos 500 pontos do conjunto de treinamento das redes.

3.2.2 Topologias avaliadas para o aprendizado da equação de Manning

Como visto no Capítulo 2, a topologia da Rede Neural Artificial, ou seja, o número de neurônios e a função de ativação de cada camada é totalmente dependente do tipo de problema. Sendo assim, para um mesmo problema, diversas topologias são possíveis para a resolução do problema apresentado.

As redes com diferentes topologias tendem a apresentar comportamentos distintos para um conjunto de padrões diferente dos padrões observados na fase de treinamento.

Devido a isso, foram definidas 20 topologias diferentes. Nas 20 arquiteturas foram fixadas 4 camadas. A primeira, com 4 neurônios representando os dados de entrada. A segunda camada, que corresponde à primeira camada escondida de processamento da rede, é definida por um número de neurônios variável em cada topologia, com função de ativação linear. A terceira camada, a qual corresponde à segunda camada escondida de processamento da rede também é definida por um número variado de neurônios, contudo a função de ativação dessa camada corresponde à tangente hiperbólica. Por fim, a quarta camada corresponde à camada de saída, que possui apenas um neurônio, com uma função de ativação linear. As funções de ativação foram definidas através de exaustivos testes avaliando o comportamento da RNA para os padrões de treinamento.

A Tabela 3 apresenta a quantidade de neurônios em cada camada avaliada nas 20 redes neurais utilizadas para a aprendizagem da equação de Manning.

TABELA 3 – NÚMERO DE NEURÔNIOS NAS CAMADAS ESCONDIDAS DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS AVALIADAS – EQUAÇÃO DE MANNING

Rede	Primeira camada escondida	Segunda Camada escondida	Rede	Primeira camada escondida	Segunda Camada escondida
RNA 1	3	5	RNA 11	20	20
RNA 2	5	3	RNA 12	25	5
RNA 3	5	5	RNA 13	25	10
RNA 4	10	5	RNA 14	25	15
RNA 5	10	10	RNA 15	25	20
RNA 6	15	10	RNA 16	25	25
RNA 7	15	15	RNA 17	30	10
RNA 8	20	5	RNA 18	30	15
RNA 9	20	10	RNA 19	30	20
RNA 10	20	15	RNA 20	30	25

FONTE: O AUTOR (2018)

3.2.3 Definição dos conjuntos de simulação para avaliação das RNA capazes de reproduzir a equação de Manning

Os conjuntos definidos possuíram a função de avaliar a capacidade de interpolação e extrapolação das Redes Neurais Artificiais, definidas e apresentadas no item 3.2.2, após a conclusão da fase de aprendizado das mesmas.

Foram definidos conjuntos de simulação com a interpolação e extrapolação dos limites dos dados observados no conjunto de treinamento. O conjunto de interpolação teve o objetivo de avaliar possíveis ocorrências de *overfitting* ou *underfitting* das redes treinadas, e os conjuntos com extrapolações dos dados de entrada e saída possuem a finalidade de avaliar a confiabilidade do método para extrapolações.

Foram determinados cinco conjuntos de simulação com dados de extrapolação, e um conjunto com dados de interpolação.

Cada um dos conjuntos, tanto de extrapolação, quanto de interpolação foi composto de 40 padrões de entrada. A determinação dos padrões de entrada dos conjuntos de simulação foi definida da mesma maneira dos padrões do conjunto de treinamento.

Inicialmente, determinou-se para cada conjunto a variável a ser extrapolada. Após isso, determinou-se a faixa de extrapolação da variável. Para cada conjunto, limitou-se a extrapolação da variável correspondente ao dobro do valor apresentado no conjunto de treinamento, e para as demais variáveis do conjunto de simulação, os

valores foram gerados aleatoriamente dentro dos mesmos limites utilizados no conjunto de treinamento.

No Apêndice 1 apresenta-se os conjuntos de simulações utilizados para a avaliação das topologias das RNA treinadas para reproduzir a equação de Manning.

3.3 MÉTODO EMPREGADO PARA O TREINAMENTO DE UMA RNA PARA MODELAR O LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM GALERIAS DE ÁGUA PLUVIAL

3.3.1 Definição do conjunto de treinamento para as RNA destinadas ao aprendizado do limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias de água pluvial

O conjunto de dados de entrada destinado ao treinamento da RNA capaz de determinar o limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias foi definido com base em experimentos de pesquisas apresentadas na literatura.

Os padrões do conjunto de treinamento correspondem aos experimentos desenvolvidos por May (1993), Mayerle (1988), Ab Ghani (1993) e Ota (1999), previamente citadas no Item 2.2, totalizando 508 padrões de dados observados.

Em todos os padrões de entrada foram extraídas dos experimentos as variáveis correspondentes ao diâmetro da partícula, diâmetro do tubo, raio hidráulico, rugosidade do tubo, velocidade de escoamento, declividade longitudinal e concentração volumétrica. Além destes 7 parâmetros, foi calculado também o valor da velocidade de corte, relação entre a tensão tangencial do escoamento e a tensão tangencial no fundo do tubo e o número de Reynolds da partícula, conforme equações (74), (75) e (76), respectivamente.

$$u^* = \xi \sqrt{g R_h S} \quad (74)$$

$$\xi = \sqrt{\frac{V^*}{u^*}} \quad (75)$$

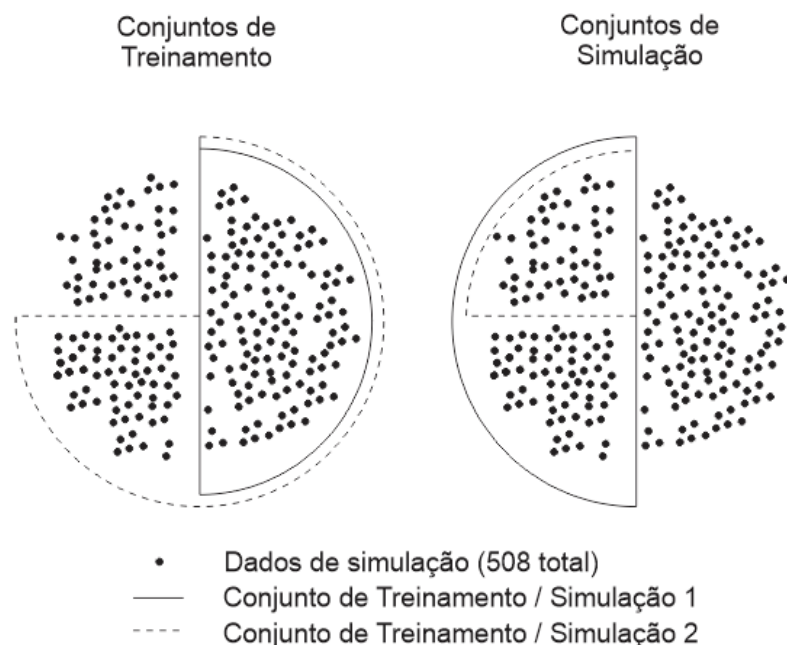
$$Re^* = \frac{V^* d}{\nu} \quad (76)$$

Para a análise do limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias utilizando redes neurais artificiais foram criados dois conjuntos de treinamento. O primeiro conjunto foi composto de 254 experimentos. Para a composição desse conjunto, selecionou-se os valores máximos e mínimos observados de todas as variáveis citadas. Após isso, foram selecionados os demais dados aleatoriamente, de maneira que o conjunto de treinamento fosse composto pela metade dos experimentos publicados por todos os autores. Esse conjunto é denominado conjunto de treinamento 01.

O segundo conjunto de treinamento estabelecido, correspondeu a um conjunto contendo 381 experimentos. De maneira análoga ao conjunto de treinamento 01, inicialmente selecionou-se os valores máximos e mínimos de todas as variáveis supracitadas. Após isso o conjunto foi completado selecionando aleatoriamente outros experimentos, porém garantindo que 75% dos dados de cada autor estivesse contemplado no conjunto. Esse conjunto é denominado conjunto de treinamento 02.

A Figura 10 ilustra a separação dos dados experimentais dos grupos descritos acima.

FIGURA 10 – CONJUNTOS DE TREINAMENTO E SIMULAÇÃO



FONTE: O AUTOR (2018)

Cada padrão de entrada foi associado a dois dados de saída, correspondendo ao parâmetro de transporte e à tensão tangencial adimensional compensada. Dessa maneira é possível reescrever a equação (71) como:

$$\begin{aligned}
u_{1,1} &= \phi_1, \psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)_1^{2/3} = f(D_1, d_{50_1}, k_1, V_1, S_1, C_{V_1}, R_{h_1}, Re^*_{1,1}, u^*_{1,1}, \xi_1) \\
u_{2,1} &= \phi_2, \psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)_2^{2/3} = f(D_2, d_{50_2}, k_2, V_2, S_2, C_{V_2}, R_{h_2}, Re^*_{2,1}, u^*_{2,1}, \xi_2) \\
u_{3,1} &= \phi_3, \psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)_3^{2/3} = f(D_3, d_{50_3}, k_3, V_3, S_3, C_{V_3}, R_{h_3}, Re^*_{3,1}, u^*_{3,1}, \xi_3) \\
&\vdots \\
u_{p,1} &= \phi_p, \psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)_p^{2/3} = f(D_p, d_{50_p}, k_p, V_p, S_p, C_{V_p}, R_{h_p}, Re^*_{p,1}, u^*_{p,1}, \xi_p)
\end{aligned} \tag{77}$$

Onde ϕ_p é o parâmetro de transporte do padrão de treinamento p ; $\psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)_p^{2/3}$ é a tensão tangencial adimensional compensada do padrão de treinamento p ; D_p é o diâmetro do tubo do padrão de treinamento p , em m; d_{50_p} é o diâmetro da partícula de sedimento do padrão de treinamento p , em mm; k_p é a altura de rugosidade do tubo do padrão de treinamento p , em mm; V_p é a velocidade do escoamento do padrão de treinamento p , em m/s; S_p é a declividade longitudinal do tubo no padrão de treinamento p , em m/m; C_{V_p} é a concentração volumétrica do escoamento no padrão de treinamento p , em ppm; R_{h_p} é o raio hidráulico no padrão de treinamento p , em m; $Re^*_{p,1}$ é o valor do parâmetro Re^* do padrão de treinamento p ; $u^*_{p,1}$ é o valor da velocidade de corte do padrão de treinamento p , em m/s e ξ_p é a relação entre a tensão tangencial e a tensão tangencial no fundo do tubo no padrão de treinamento p .

A Tabela 4 apresenta um resumo com a faixa de variação dos dados associadas a cada variável bem como os respectivos autores.

TABELA 4 – FAIXA DE VARIAÇÃO DOS DADOS DO CONJUNTO DE TREINAMENTO
CONSIDERANDO TODOS OS EXPERIMENTOS SEPARADOS POR AUTOR

Autor	Rugosidade [k] (mm)	Diâmetro do tubo [D] (mm)	Diâmetro da partícula [d_{50}] (mm)	Declividade do tubo [S] (m/m)	Raio Hidráulico [R_h] (m)
Ota (1999)	1,00	305	0,71 a 5,61	0,002	0,04 a 0,09
Ota (1999)	0,70	225	1,41 a 4,73	0,002	0,04 a 0,07
Ghani (1993)	0,35	154	0,93 a 5,70	0,0012 a 0,0053	0,01 a 0,05
Ghani (1993)	0,35	305	0,46 a 8,30	0,0006 a 0,0053	0,04 a 0,09
Ghani (1993)	0,70	450	0,72	0,0004 a 0,0031	0,11 a 0,14
Ghani (1993)	0,50	305	0,97 a 8,30	0,0007 a 0,0056	0,03 a 0,09
Ghani (1993)	1,00	305	2,00 a 8,30	0,0013 a 0,0056	0,04 a 0,09
Mayerle (1988)	0,35	152	0,50 a 8,74	0,0014 a 0,0056	0,02 a 0,05
May (1993)	0,70	299	0,72	0,0007 a 0,0074	0,06 a 0,09
May (1993)	0,35	158	0,64 a 7,90	0,0012 a 0,0075	0,03 a 0,05
May (1993)	0,35	77	0,57	0,0038 a 0,0237	0,02

Autor	Velocidade do escoamento [V] (m/s)	Concentração volumétrica [C _v] (ppm)	Re*	u*	Número de observações
Ota (1999)	0,47 a 0,74	4,19 a 59,40	26,21 a 236,37	0,03 a 0,04	36
Ota (1999)	0,51 a 0,76	26,21 a 77,99	44,43 a 171,77	0,03 a 0,04	13
Ghani (1993)	0,24 a 0,86	38 a 1450	15,63 a 273,81	0,02 a 0,05	39
Ghani (1993)	0,40 a 1,21	0,76 a 1280	10,40 a 478,11	0,02 a 0,06	89
Ghani (1993)	0,50 a 1,22	2,00 a 38,00	16,95 a 43,77	0,02 a 0,06	27
Ghani (1993)	0,41 a 1,00	1,00 a 923,00	24,17 a 480,52	0,02 a 0,06	71
Ghani (1993)	0,57 a 0,83	7,00 a 403,00	68,83 a 477,52	0,03 a 0,06	30
Mayerle (1988)	0,37 a 1,10	20,40 a 1275	13,34 a 438,69	0,02 a 0,05	106
May (1993)	0,50 a 1,50	0,31 a 443,00	17,42 a 53,05	0,02 a 0,07	48
May (1993)	0,43 a 1,20	4,70 a 918,00	13,57 a 416,92	0,02 a 0,05	41
May (1993)	0,48 a 1,21	58,50 a 2110,00	15,22 a 38,07	0,03 a 0,07	8

FONTE: O AUTOR (2018)

3.3.1.1 Conjunto de treinamento 01

O conjunto de treinamento 01 corresponde a utilização de 50% dos dados obtidos nas pesquisas de May (1993), Mayerle (1988), Ab Ghani (1993) e Ota (1999), de modo que o conjunto contemplasse 254 experimentos. Dentre esses experimentos foram selecionados os valores máximos e mínimos de cada variável, e, após isso, selecionou-se o restante dos dados aleatoriamente, com a condição de que 50% dos dados de todos os autores estivessem contemplados no conjunto.

Todos os dados foram obtidos integralmente das publicações dos quatro autores supracitados, onde apenas u^* e Re^* foram calculados. Esta consideração foi feita para que a RNA fosse treinada com o dado realmente observado, eliminando a possibilidade de adicionar tendências indiretas ao treinamento.

Com os dados devidamente selecionados, foram calculados o Parâmetro de transporte e a Tensão Tangencial Adimensional Compensada através das equações (78) e (79), respectivamente.

$$\phi = \frac{C_v V R_h}{\sqrt{d_{50}^3 g (S_s - 1)}} \quad (78)$$

$$\psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{2/3} = \frac{u^{*2}}{g (S_s - 1) d_{50}} \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{2/3} \quad (79)$$

Para a tensão tangencial adimensional compensada foi considerado o efeito da variação da tensão tangencial no leito do tubo, apresentada por Ota (1999).

A Tabela 5 apresenta um resumo da variação de todas as variáveis utilizadas no conjunto de treinamento contendo os dados experimentais de May (1982), Mayerle (1988), Ghani (1993) e Ota (1999).

TABELA 5 – RESUMO DOS PADRÕES DE ENTRADA DO CONJUNTO 01

	k (mm)	D (mm)	d_{50} (mm)	S (m/m)	R_h (m)	V (m/s)	C_v (ppm)	Re^*	u^*
Máximo	0,504	450	8,74	0,0237	0,136	1,498	2110	472	0,077
Mínimo	0,004	76,7	0,460	0,0004	0,015	0,240	0,310	10,4	0,018
Média	0,070	251	2,95	0,0030	0,058	0,696	205	114	0,038
Desv. Pad.	0,086	87,6	2,50	0,0025	0,026	0,206	301	109	0,010

FONTE: O AUTOR (2018)

Os dados de entrada considerados neste conjunto de treinamento estão apresentados na íntegra no Anexo 1 – Conjuntos utilizados para o treinamento das RNA na determinação do limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias de águas pluviais.

De maneira análoga ao conjunto de treinamento para as Redes Neurais Artificiais destinadas ao aprendizado da equação de Manning, após a definição dos padrões de entrada executou-se uma ponderação linear dos valores do conjunto de treinamento de forma que os valores de cada variável fossem limitados entre valores de 0,20 e 0,80, adimensionalizados. Essa ponderação se faz necessária uma vez que há a necessidade de se adequar os valores dos dados de entrada no domínio da função de ativação utilizada na rede neural artificial. De maneira análoga os dados de saída, correspondentes ao parâmetro de transporte e a tensão tangencial adimensional compensada, também foram adimensionalizados entre 0,20 e 0,80. A equação (80) corresponde à relação utilizada para a ponderação desses dados.

$$x_{pond} = \frac{(x_i - x_{min}) \times (0,80 - 0,20)}{(x_{máx} - x_{min})} + 0,20 \quad (80)$$

3.3.1.2 Conjunto de treinamento 02

Para as análises envolvendo a definição do limite de deposição através da utilização de uma rede neural artificial, foram testados conjuntos de treinamento diferentes para a avaliação e ponderação do impacto desse conjunto no desempenho geral das redes.

O conjunto de treinamento 02 corresponde a utilização de 75% dos dados obtidos nas pesquisas c, de modo que o conjunto contemplasse 381 experimentos. Dentre esses experimentos foram selecionados os valores máximos e mínimos de cada variável, e, após isso, selecionou-se o restante dos dados aleatoriamente, com a condição de que 75% dos dados de todos os autores estivessem contemplados no conjunto.

Da mesma maneira ao conjunto de treinamento 01, as variáveis extraídas destes estudos corresponderam ao diâmetro da partícula, diâmetro do tubo, raio hidráulico, rugosidade do tubo, velocidade de escoamento, declividade longitudinal e concentração volumétrica, totalizando 7 dados de entrada obtidos diretamente dos

experimentos. Além desses 7 dados, foi calculado também o valor dos parâmetros u^* e Re^* , conforme equações (74), (75) e (76).

Com os dados devidamente selecionados, foram calculados o Parâmetro de transporte e a Tensão Tangencial Adimensional Compensada através das equações (78) e (79), respectivamente. A Tabela 5 apresenta os limites máximos e mínimos de todos os dados de entrada resumindo a amplitude da variação de cada parâmetro utilizado no conjunto de treinamento aqui descrito.

TABELA 6 – RESUMO DOS PADRÕES DE ENTRADA DO CONJUNTO 02

	k (mm)	D (mm)	d_{50} (mm)	S (m/m)	R_h (m)	V (m/s)	C_v (ppm)	Re^*	u^*
Máximo	0,504	450	8,74	0,0237	0,136	1,498	2110	472	0,077
Mínimo	0,004	76,7	0,460	0,0004	0,015	0,240	0,310	10,4	0,018
Média	0,071	251	3,08	0,0030	0,057	0,705	213	119	0,038
Desv. Pad.	0,086	87,1	2,58	0,0023	0,026	0,210	301	112	0,010

FONTE: O AUTOR (2018)

Assim como os outros conjuntos de treinamento já apresentados anteriormente, o presente conjunto também passou pelo processo de adimensionalização e ponderação dos dados, obedecendo a uma ponderação linear apresentada na equação (80). Todos os dados de entrada e de saída foram adimensionalizados e ponderados entre os valores de 0,20 e 0,80.

3.3.2 Topologias avaliadas para a determinação do limite de deposição de sedimentos em galerias

Após a definição dos conjuntos de treinamento, determinaram-se as topologias das redes neurais utilizadas para a determinação do limite de deposição. Da mesma maneira que foi feito para as análises com a equação de Manning, a definição das topologias para análise da determinação do limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias de águas pluviais seguiu as mesmas premissas adotadas no item 3.2.2, com a ressalva que desta vez foram analisadas 25 topologias diferentes.

Variando apenas a quantidade de dados de entrada nas redes, todas as 25 redes possuíam 4 camadas de processamento. A primeira correspondente a camada dos dados de entrada, que possuiu 10 neurônios para o cálculo do parâmetro de transporte e tensão tangencial adimensional, e 8 neurônios para o cálculo da

concentração volumétrica. A segunda e terceira camada de processamento possuíram quantidades de neurônios artificiais variando entre 5 e 25 em cada uma das camadas. A quarta e última camada correspondeu à camada do dado de saída, possuindo apenas um neurônio nos três casos analisados. As quantidades de neurônios nas camadas intermediárias de processamento estão apresentadas na Tabela 7.

TABELA 7 – NÚMERO DE NEURÔNIOS NAS CAMADAS ESCONDIDAS DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS AVALIADAS – LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS

RNA	Nº DE NEURONIOS NA PRIMEIRA CAMADA / Nº DE NEURONIOS NA SEGUNDA CAMADA	RNA	Nº DE NEURONIOS NA PRIMEIRA CAMADA / Nº DE NEURONIOS NA SEGUNDA CAMADA
RNA 1	5/5	RNA 14	15/20
RNA 2	5/10	RNA 15	15/25
RNA 3	5/15	RNA 16	20/5
RNA 4	5/20	RNA 17	20/10
RNA 5	5/25	RNA 18	20/15
RNA 6	10/5	RNA 19	20/20
RNA 7	10/10	RNA 20	20/25
RNA 8	10/15	RNA 21	25/5
RNA 9	10/20	RNA 22	25/10
RNA 10	10/25	RNA 23	25/15
RNA 11	15/5	RNA 24	25/20
RNA 12	15/10	RNA 25	25/25
RNA 13	15/15		

FONTE: O AUTOR (2018)

3.3.3 Definição dos conjuntos de simulação para avaliação das RNA para modelar o limite de deposição de sedimentos em galerias de águas pluviais

Assim como para os conjuntos de treinamento, foram determinados dois conjuntos de simulação, um para cada conjunto de treinamento. Os conjuntos de simulação foram compostos dos demais dados não selecionados para compor o conjunto de treinamento.

Dessa maneira, o conjunto de simulação 01, utilizado para avaliar o desempenho das redes neurais artificiais treinadas com o conjunto de treinamento 01, foi composto dos 254 experimentos não selecionados no conjunto destinado ao treinamento das redes. Analogamente, o conjunto de simulação 02 foi composto de 127 dados que não foram selecionados para compor o conjunto de treinamento 02.

Como para a composição dos conjuntos de treinamento foram selecionados os valores máximos e mínimos de cada variável, os dados desses conjuntos corresponderam apenas a valores entre os limites observados pela rede na fase de aprendizagem.

Ambos os conjuntos de simulação foram formados por padrões contendo as mesmas variáveis do conjunto de treinamento, correspondendo ao diâmetro de sedimento, declividade longitudinal, rugosidade do tubo, diâmetro do tubo e lâmina de água no tubo. Destes dados calculou-se a velocidade, u^* , Re^* , ξ e o raio hidráulico.

3.4 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DA MELHOR REDE NEURAL ARTIFICIAL

Para os casos analisados, após a fase de treinamento todas as redes foram submetidas a fase de simulação, onde foram apresentadas as redes os conjuntos de simulação previamente apresentados.

Para as análises referentes a determinação da vazão utilizando parâmetros da equação de Manning, os resultados fornecidos pela rede neural artificial foram comparados aos resultados obtidos através da equação de Manning.

Para as análises no limite de deposição, os valores do parâmetro de transporte e a tensão tangencial adimensional compensada fornecidos pela rede foram comparados com as equações (78) e (79).

As comparações entre os resultados das redes e os resultados das equações foram executadas analisando os valores do erro padrão da estimativa e do coeficiente de determinação.

O erro padrão da estimativa está diretamente correlacionado com a precisão dos valores previstos pela Rede Neural Artificial frente aos valores calculados através das equações. Este parâmetro quantifica a dispersão das observações amostrais em relação a regressão, de modo que quanto menor a dispersão, ou o erro, melhor são as estimativas. Os erros padrões das estimativas das redes neurais foram calculados através da utilização da equação (81).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(t - t_{obs})^2}{n - 2}} \quad (81)$$

Onde t corresponde a variável calculada através de equações e t_{obs} corresponde a variável observada na rede neural artificial.

O coeficiente de determinação (R^2) indica o quanto que a variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados. Onde quanto mais próximo da unidade, maior será a validade da regressão. A equação (82) corresponde a relação utilizada para o cálculo do coeficiente de determinação.

$$R^2 = \left(\frac{\sum(t - t_{méd})(t_{obs} - t_{obs,méd})}{\sqrt{\sum(t - t_{méd})^2 \sum(t_{obs} - t_{obs,méd})^2}} \right)^2 \quad (82)$$

Onde $t_{méd}$ corresponde à média das variáveis calculadas e $t_{méd,obs}$ corresponde à média das variáveis observadas na rede neural artificial.

Para a seleção da rede neural com o melhor desempenho para a previsão de cada grandeza analisada, selecionou-se a rede que possuiu o menor erro padrão da estimativa. O coeficiente de determinação foi utilizado para avaliar a aderência da estimativa a uma determinada equação, o qual por si só não corresponde a um parâmetro de seleção para as análises apresentadas nesta dissertação.

3.5 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE EXTRAPOLAÇÃO E INTERPOLAÇÃO DAS RNA

Para a análise da capacidade de extrapolação e interpolação das redes neurais artificiais, utilizou-se as redes neurais artificiais treinadas para a reprodução da equação de Manning. Após a fase de treinamento, todas as RNA foram apresentadas aos conjuntos de simulação, os quais encontram-se no Apêndice 1.

Todos os conjuntos de simulação foram apresentados a todas as RNA, de forma a obter a rede que apresentasse o menor erro padrão da estimativa para padrões do conjunto de entrada diferentes dos apresentados no conjunto de treinamento.

Com a seleção da RNA com o menor erro padrão da estimativa, realizou-se uma comparação dos resultados fornecidos pela RNA e pela equação de Manning.

Nas extrapolações, determinou-se um erro máximo de 5% para mais ou para menos em comparação aos dados fornecidos pela equação de Manning para que os dados fornecidos pela RNA fossem considerados aceitáveis.

Como os conjuntos de simulações contemplaram extrapolações individuais de cada uma das variáveis de entrada da equação de Manning, determinou-se um limite de extrapolação aceitável para cada variável. Ou seja, ao comparar os dados fornecidos pela rede neural com os dados calculados através da equação de Manning, analisou-se a diferença entre os mesmos, de maneira a limitar os conjuntos de simulações com padrões de entrada que fornecessem apenas resultados de saídas dentro da faixa de erro aceitável, descartando assim os padrões de entrada que levam a rede a produzir um dado de saída com erros maiores do que os aceitáveis.

Dessa maneira foi possível a determinação do limite de extrapolação de cada variável da equação de Manning.

3.6 DETERMINAÇÃO DA TENDÊNCIA APRESENTADA PELAS REDES NEURAIS NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO

Com a seleção da RNA que melhor generaliza o parâmetro de transporte e a tensão tangencial adimensional compensada através da utilização dos critérios apresentados no item 3.4, apresentou-se as redes treinadas com o conjunto de treinamento 01 os conjuntos de simulação 01 e 02. E para as redes treinadas com o conjunto de treinamento 02 apresentou-se somente o conjunto de simulação 02.

Com os dados fornecidos pelas RNA, inicialmente determinou-se duas equações que representassem a tendência apresentada pela rede neural quando apresentada ao conjunto de simulação.

Essa equação foi obtida através da correlação do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada determinadas pela rede neural, de maneira a obter uma relação conforme apresentada na equação (83).

$$\phi = a \left[\psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{2/3} \right]^b \quad (83)$$

Onde a e b são constantes. Para a obtenção dos valores das constantes utilizou-se o software Curve Expert.

A definição de uma equação de regressão para os pontos apresentados pelas RNA teve como objetivo a tentativa de representação da tendência observada nos resultados das redes para interpolações.

Para a elaboração da curva de regressão utilizou-se apenas os dados do conjunto de simulação, de maneira a ajustar uma equação que representasse a tendência das respostas da rede para pontos diferentes dos apresentados na etapa de treinamento.

Logo, como foram definidos dois conjuntos de treinamento e dois conjuntos de simulação, serão apresentadas duas equações no capítulo 4 da forma da equação (83), onde cada uma estará associada aos resultados obtidos com o uso de conjuntos de treinamento e simulação diferentes.

3.7 COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES AJUSTADAS E AS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO DISPONÍVEIS NA LITERATURA

Com as equações determinadas, confrontou-se os valores obtidos referentes a declividade longitudinal no limite de deposição com os resultados fornecidos pelas equações de regressão apresentadas no item 2.3, utilizando todos os dados experimentais disponíveis na literatura. As equações de regressão analisadas correspondem as equações apresentadas na Tabela 8.

TABELA 8 – EQUAÇÕES ANALISADAS

Autor	Equação	Nº
Novak e Nalluri (1975)	$S = 0,203 (S_s - 1) C_v^{0,65} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{0,351} \left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \right)^{-0,65}$	(49)
Mayerle <i>et al.</i> (1991)	$\frac{V_c}{\sqrt{g d_{50} (S_s - 1)}} = 4,32 C_v^{0,23} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{-0,68}$	(48)
May <i>et al.</i> (1996)	$C_v = 3,03 \times 10^{-2} \left(\frac{D^2}{A} \right) \left(\frac{d_{50}}{D} \right) \left[1 - \frac{V_t}{V_c} \right]^4 \left[\frac{V_c^2}{g d_{50} (S_s - 1)} \right]^{1,5}$	(56)
Ab Ghani (1993)	$\frac{V_c}{\sqrt{g d_{50} (S_s - 1)}} = 3,08 C_v^{0,21} D_{gr}^{-0,09} \left(\frac{R_h}{d_{50}} \right)^{0,53} \lambda_s^{-0,21}$	(54)
Ota (1999)	$\frac{V_c}{\sqrt{g (S_s - 1) d_{50}}} = 0,785 \xi^{-0,614} C_v^{0,227} \left(\frac{R_h}{d_{50}} \right)^{0,227} \left(\frac{k}{d_{50}} \right)^{0,409} \left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \right)^{-1,178}$	(61)
Vongvisessomjai <i>et al.</i> (2010)	$\frac{V_c}{\sqrt{g (S_s - 1) d_{50}}} = Fr^* = 4,31 C_v^{0,226} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{-0,616}$	(65)
Ebtehaj <i>et al.</i> (2014)	$Fr = \frac{V_c}{\sqrt{g d_{50} (s - 1)}} = 4,49 C_v^{0,21} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{-0,54}$	(69)

FONTE: O AUTOR (2018)

O desempenho na previsão da declividade longitudinal no limite de deposição utilizando as equações de regressão apresentadas na Tabela 8 foi medido a partir do cálculo do erro padrão da estimativa e do coeficiente de determinação, ao utilizar as equações nos dados experimentais disponíveis na literatura. De tal modo que se selecionou a melhor equação aquela que apresentou o menor erro padrão da estimativa em relação aos experimentos.

3.8 ESCOLHA DA EQUAÇÃO MAIS INDICADA PARA A EXTRAPOLAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO

Para a determinação da equação mais indicada para a extrapolação do limite de deposição analisou-se qual das equações definidas a partir da tendência apresentada pelas redes neurais apresentou uma melhor aderência aos dados experimentais através do cálculo do erro padrão da estimativa e do coeficiente de determinação.

Com a equação que melhor se ajustou aos dados experimentais, comparou-se os desvios apresentados pelas equações de regressão apresentadas na Tabela 8 à essa equação. A partir do menor erro padrão da estimativa encontrado em relação aos valores obtidos pela equação ajustada com a tendência apresentada pela rede, determinou-se a equação mais indicada para extrapolações da rede neural artificial.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são analisados os resultados obtidos nos testes descritos no Capítulo 3. Inicialmente são apresentados e discutidos os resultados obtidos através da aplicação de uma RNA para a interpolação e extrapolação da equação de Manning. Em seguida, serão apresentados e analisados os resultados referentes a determinação da condição do limite de deposição de sedimentos em galerias de água pluviais.

4.1 EQUAÇÃO DE MANNING

Foram feitas análises para verificar se há possibilidade de obter resultados confiáveis da rede em valores além da faixa daquela apresentada no conjunto de treinamento. Para isso foi utilizada a equação de Manning.

Essa análise foi executada observando inicialmente os resultados das 20 redes neurais para o conjunto de treinamento. Foram utilizados o erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação para a classificação das melhores redes neurais. A Tabela 9 apresenta os valores destes dois parâmetros para cada uma das RNA avaliadas.

TABELA 9 – VALORES DOS COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E DO ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) PARA O CONJUNTO DE TREINAMENTO – EQUAÇÃO DE MANNING

Rede	R^2	EPE	Rede	R^2	EPE
RNA 1	0,9982	0,0013	RNA 6	0,9998	0,0004
RNA 2	0,9848	0,0037	RNA 7	0,9982	0,0012
RNA 3	0,9914	0,0028	RNA 8	0,9940	0,0023
RNA 4	0,9938	0,0023	RNA 9	0,9968	0,0017
RNA 5	0,9997	0,0005	RNA 10	0,9929	0,0025
Rede	R^2	EPE	Rede	R^2	EPE
RNA 11	0,9994	0,0004	RNA 16	0,9961	0,0018
RNA 12	0,9926	0,0026	RNA 17	0,9948	0,0021
RNA 13	0,9998	0,0004	RNA 18	0,9992	0,0009
RNA 14	0,9989	0,0010	RNA 19	0,9984	0,0012
RNA 15	0,9995	0,0006	RNA 20	0,9996	0,0005

FONTE: O AUTOR (2018)

Ao analisar a Tabela 9, nota-se que todos os resultados foram bons. Entretanto, a rede que obteve o menor erro padrão da estimativa correspondeu a RNA 13, equivalente a 0,0004, associado a um coeficiente de determinação de 0,9998, indicando uma boa aderência dos resultados fornecidos pela rede neural e dos resultados calculados pela equação de Manning.

O valor do coeficiente de determinação da RNA 13 não corresponde ao maior valor encontrado deste parâmetro para as 20 redes avaliadas. Contudo, este valor unicamente não é suficiente para concluir se o desempenho da rede neural é bom ou não. Por isso, o coeficiente de determinação foi utilizado como um parâmetro auxiliar para avaliar a aderência dos pontos.

Após a análise dos resultados para o conjunto de treinamento, todas as 20 redes neurais artificiais foram testadas de maneira similar aos conjuntos de simulação. Essa análise teve como objetivo identificar e confirmar se a RNA 13 realmente possui uma capacidade melhor de generalização frente as outras redes analisadas, identificando eventuais ocorrências de *underfitting* ou *overfitting*. A Tabela 10 apresenta os valores para cada rede neural analisada.

TABELA 10 – VALORES DOS COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E DO ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) PARA OS CONJUNTOS DE SIMULAÇÃO – EQUAÇÃO DE MANNING

RNA	CONJUNTO DE SIMULAÇÃO											
	Área e Raio hidráulico		Declividade Longitudinal		Manning		Vazão		Todos os dados		Interpolação	
	R^2	EPE	R^2	EPE	R^2	EPE	R^2	EPE	R^2	EPE	R^2	EPE
RNA 1	0,985	55,3	0,995	32,8	0,942	1,72	0,969	56,8	0,945	25,2	0,988	24,3
RNA 2	0,884	111	0,881	112	0,677	4,23	0,828	55,7	0,788	20,3	0,924	67,4
RNA 3	0,955	72,0	0,993	39,8	0,836	3,94	0,912	68,2	0,355	30,7	0,956	41,7
RNA 4	0,954	86,1	0,994	42,0	0,557	4,30	0,919	55,2	0,078	349	0,953	44,9
RNA 5	0,964	120	0,996	7,84	0,630	3,07	0,991	17,0	0,698	136	0,979	32,0
RNA 6	0,865	131	0,934	109	0,970	1,42	0,966	22,1	0,127	90,5	0,977	33,9
RNA 7	0,954	72,0	0,989	36,8	0,387	6,41	0,922	54,8	0,649	38,6	0,966	37,9
RNA 8	0,967	93,1	0,994	12,6	0,883	3,04	0,968	60,3	0,811	17,5	0,991	27,7
RNA 9	0,987	90,6	0,989	35,7	0,096	5,62	0,980	65,4	0,282	73,6	0,989	33,9
RNA 10	0,986	529	0,245	113	0,388	163	0,996	10,3	0,925	531	0,814	122
RNA 11	0,994	42,1	0,993	10,3	0,605	6,85	0,992	25,3	0,446	22	0,998	11,1
RNA 12	0,968	118	0,981	59,8	0,014	8,59	0,891	37,6	0,063	265	0,927	73,2
RNA 13	0,996	21,9	0,401	103	0,981	0,679	0,988	23,4	0,931	9,87	0,994	15,4
RNA 14	0,945	125	0,994	34,8	0,831	4,88	0,965	26,1	0,700	115	0,960	48,7
RNA 15	0,977	107	0,990	18,9	0,934	1,33	0,989	67,0	0,976	7,08	0,992	34,1
RNA 16	0,647	319	0,952	78,6	0,093	77,0	0,838	60,0	0,764	301	0,906	71,8
RNA 17	0,937	92,7	0,975	62,4	0,645	3,68	0,958	67,0	0,025	523	0,973	35,9
RNA 18	0,938	103	0,863	69,3	0,299	4,02	0,967	71,2	0,295	327	0,987	30,0
RNA 19	0,889	121	0,991	26,8	0,874	2,71	0,982	49,1	0,620	86,3	0,984	25,1
RNA 20	0,888	318	0,986	28,4	0,982	0,637	0,987	44,1	0,623	171	0,914	86,0

FONTE: O AUTOR (2018)

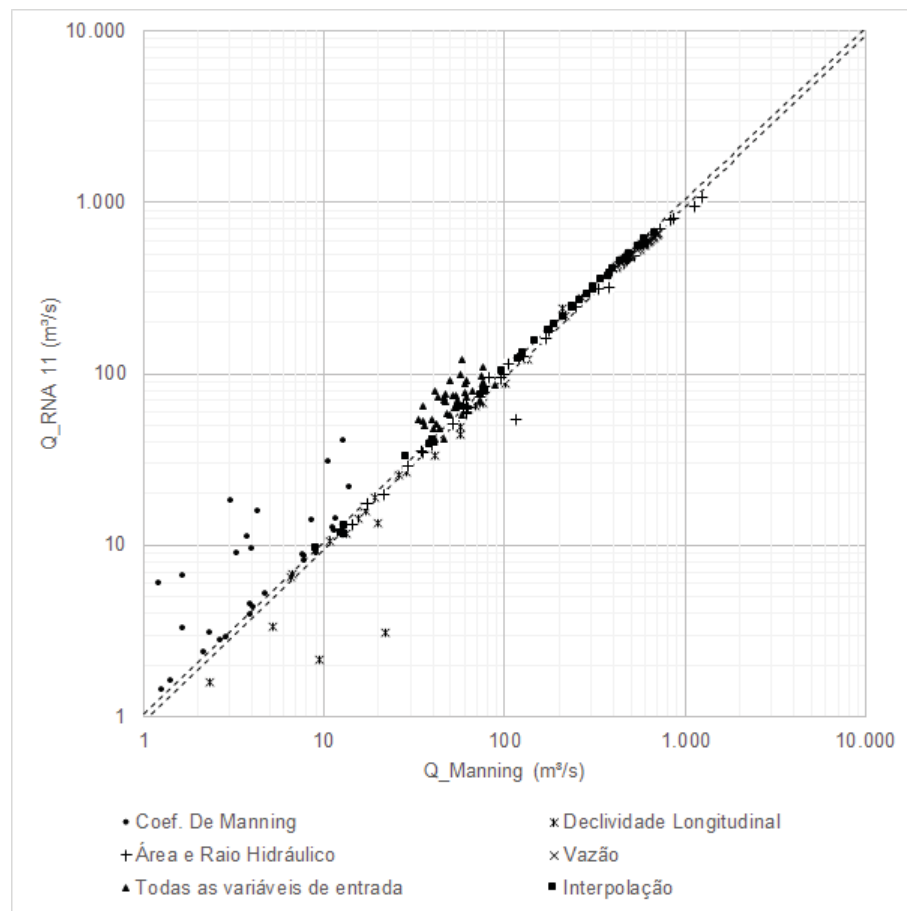
Analisando os resultados do conjunto de simulação apresentados na Tabela 10, nota-se que para o conjunto de extrapolação das variáveis correspondentes a área e o raio hidráulico a RNA 13 obteve o menor erro padrão da estimativa, equivalente a 21,9 associado a um coeficiente de determinação de 0,996. Para o conjunto de simulação o qual contemplou a extrapolação da declividade longitudinal a RNA 5 apresentou um melhor desempenho com um erro padrão da estimativa equivalente a 7,84 associado a um coeficiente de determinação de 0,996. No conjunto equivalente a extrapolação do coeficiente de Manning, a rede correspondente ao menor erro padrão da estimativa, equivalente a 0,637 associado a um coeficiente de determinação de 0,982 correspondeu a RNA 20. Para o conjunto de extrapolação da vazão, a RNA 10 apresentou um erro padrão da estimativa de 10,3 associado a um coeficiente de determinação equivalente a 0,996. No conjunto que contemplou a extrapolação de todos os dados de entrada, a rede que apresentou o melhor desempenho correspondeu a RNA 15 com um erro padrão da estimativa de 7,08

associado a um coeficiente de determinação de 0,976. E por fim, no conjunto de interpolação de todos os dados de entrada a RNA que apresentou um melhor desempenho correspondeu a RNA 11, com um erro padrão da estimativa de 11,133 associado a um coeficiente de determinação correspondente a 0,998.

Nota-se que para a extrapolação de cada variável uma rede diferente apresentou melhor desempenho frente as demais. Para seleção de uma rede com o melhor desempenho e mais indicada para a extrapolação de dados somou-se os erros padrões de todas as redes neurais e concluiu-se que a rede com um menor erro padrão da estimativa para todos os casos corresponde a RNA 11, com o erro padrão da estimativa acumulado de 118.

A Figura 11 abaixo ilustra a comparação dos valores obtidos pela RNA 11 e os valores calculados pela equação de Manning para os pontos observados nos seis conjuntos de simulação em um gráfico com escala logarítmica. É possível observar a existência de duas linhas pontilhadas que indicam um limite de erro aceitável, equivalente à 5%, para a vazão obtida pela rede em comparação com a vazão obtida pela equação de Manning. Além disso observa-se que os conjuntos correspondentes a extrapolação dos dados do coeficiente de Manning, da declividade longitudinal e a extrapolação de todos os dados de entrada apresentaram um maior desvio para o valor resultante da equação de Manning.

FIGURA 11 – COMPARATIVO ENTRE A VAZÃO OBTIDA PELA RNA 11 E PELA EQUAÇÃO DE MANNING



FONTE: O AUTOR (2018)

Ao analisar separadamente cada um dos conjuntos de resultados da rede para cada variável extrapolada, é possível determinar os limites para a extrapolação de cada variável individualmente. De forma que este limite corresponda a valores que proporcionem a rede a capacidade de extrapolação dos valores de saída (vazão) dentro do limite de erro apresentado (5%). Dito isso, apresenta-se na Tabela 11 os limites de extrapolação de cada uma das variáveis.

TABELA 11 – LIMITES DE EXTRAPOLAÇÃO OBSERVADOS

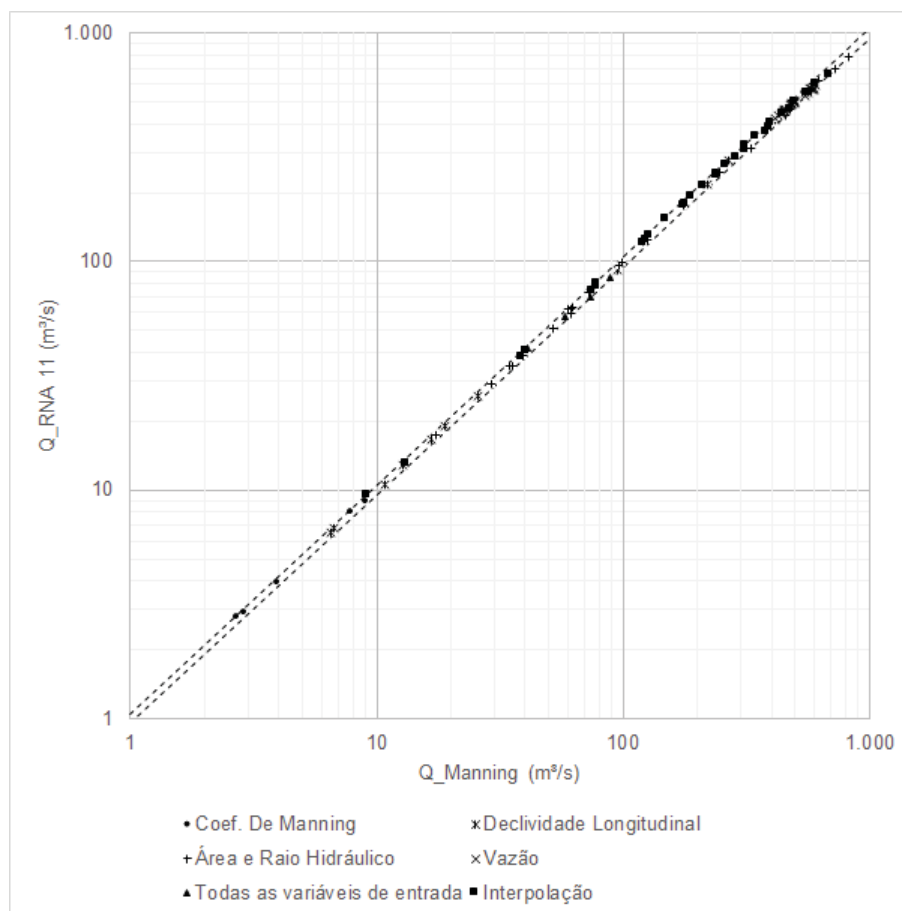
Grandeza	Valor máximo para extrapolação	
	Valor	Porcentagem acima do máximo valor do conjunto de treinamento
Coeficiente de Manning ($m^{-1/3}/s$)	0,354	7,30 %
Declividade longitudinal (m/m)	0,0115	15,23 %
Área (m^2)	78,16	33,35 %
Raio Hidráulico (m)	3,27	14,33 %
Vazão (m^3/s)	603,99	53,17 %

FONTE: O AUTOR (2018)

Ao se retirar dos conjuntos de simulação os valores acima dos limites apresentados na Tabela 11, observa-se que todos os dados obtidos pela RNA 11 resultam dentro do limite de erro pré-determinado. A Figura 12 apresenta a correlação entre os valores obtidos através da equação de Manning e os valores obtidos pela RNA para os valores das variáveis envolvidas na equação de Manning extrapolados até os s apresentados na Tabela 11.

Nota-se que apesar da RNA 11 apresentar um limite de extrapolação para cada grandeza envolvida na equação de Manning de forma que continue resultando valores aceitáveis de vazão, conclui-se que avaliar se a extrapolação de uma RNA é boa ou não para determinado problema onde não se conhece o comportamento físico, é muito arriscado e envolve muitas incertezas. Essa afirmação se baseia nos resultados apresentados primordialmente na Tabela 9 e na Tabela 10. Nota-se na Tabela 9 que qualquer arquitetura de rede treinada poderia resultar um valor de vazão aceitável, analisando os valores dos erros padrões da estimativa e do coeficiente de determinação. Todavia, ao analisar a Tabela 10 verifica-se que para extrapolações e interpolações as redes apresentam comportamentos muito distintos, não sendo confiáveis caso não haja um critério de avaliação dos resultados. Por isso, as redes neurais não serão utilizadas em extrapolações na segunda etapa deste trabalho, que se refere a determinação do limite de deposição em galerias de drenagem.

FIGURA 12 – COMPARATIVO ENTRE A VAZÃO OBTIDA PELA RNA 11 E PELA EQUAÇÃO DE MANNING, CONSIDERANDO OS DADOS APRESENTADOS NA TABELA 11



FONTE: O AUTOR (2018)

4.2 LIMITE DE DEPOSIÇÃO UTILIZANDO REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Neste item são apresentados os resultados obtidos com a utilização das Redes Neurais Artificiais para a determinação do limite de deposição de sedimentos no leito de tubos de galerias de drenagem. Com o objetivo de analisar a influência do conjunto de treinamento nas respostas fornecidas pela rede, foram determinados dois conjuntos de treinamento. O conjunto 01, que possui metade dos experimentos apresentados por May (1993), Mayerle (1988), Ab Ghani (1993) e Ota (1999). E o Conjunto 02, que possui 75% dos experimentos apresentados por esses mesmos autores. Ambos os conjuntos de treinamento estão apresentados no Anexo 1 – Conjuntos utilizados para o treinamento das RNA na determinação do limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias de águas pluviais.

Após o treinamento das Redes Neurais Artificiais, as mesmas foram avaliadas através da utilização de conjuntos de simulação, que são compostos pelo restante dos dados experimentais não considerados nos conjuntos de treinamento.

Com a determinação dos parâmetros de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada, apresentam-se duas equações para a determinação da concentração volumétrica e para a declividade mínima no tubo no limite de deposição em tubos, para cada um dos conjuntos de treinamento utilizados.

Ao fim desse capítulo é apresentado um exemplo numérico que compara o desempenho das equações apresentadas nesse trabalho frente às equações já existentes. Através dessa comparação uma equação é selecionada como a mais indicada para a determinação do limite de deposição em galerias de drenagem.

4.2.1 Conjunto de treinamento 01

Primeiramente, as topologias definidas no item 3.3.2 foram apresentadas ao Conjunto de treinamento 01. Esse conjunto foi composto da metade dos experimentos apresentados por May (1993), Mayerle (1988), Ab Ghani (1993) e Ota (1999).

A concepção do conjunto, conforme já comentado no item 3.3.1, foi realizada inicialmente considerando os valores máximos e mínimos de todas as grandezas observadas. Além disso, garantiu-se que metade dos dados de todos os autores estivessem contemplados no conjunto. A escolha desses dados foi feita de forma aleatória.

Com a fase de aprendizado das redes neurais artificiais concluída, as mesmas foram apresentadas ao conjunto de simulação 01, que é composto pelos experimentos não considerados no conjunto de treinamento 01. Essa análise foi realizada de modo a identificar problemas de *overfitting* e *underfitting* além de identificar qual a topologia que melhor generaliza o comportamento da variável. A seleção da rede com o melhor desempenho correspondeu à rede com o menor erro padrão da estimativa.

O conjunto de simulação 01 foi novamente apresentado à rede com maior capacidade de generalização, desta maneira com o objetivo de extrair os valores do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada para os experimentos contemplados no conjunto de simulação 01, de maneira a identificar a

tendência apresentada pela rede para pontos diferentes dos apresentados na etapa e treinamento.

Com os valores obtidos através da RNA, ajustaram-se equações destinadas à determinação da velocidade mínima, declividade mínima e concentração volumétrica no limite de deposição.

4.2.1.1 Determinação do Parâmetro de Transporte no limite de deposição

A determinação do parâmetro de transporte foi realizada primeiramente através do treinamento das 25 redes neurais artificiais apresentadas na Tabela 7, utilizando o conjunto de treinamento contendo 254 padrões de entrada obtidos na literatura, compostos das grandezas correspondentes à concentração volumétrica, diâmetro do tubo, diâmetro da partícula de sedimento, rugosidade do tubo, declividade longitudinal, número de Reynolds da partícula, velocidade de corte, velocidade média do escoamento, relação entre a tensão tangencial média e a tensão tangencial no fundo da galeria e raio hidráulico. Com a fase de aprendizagem concluída, o desempenho das redes neurais foi avaliado com a utilização do erro padrão da estimativa e do coeficiente de determinação (R^2), o qual é apresentado individualmente para cada topologia de rede na Tabela 12.

Analisando a Tabela 12 nota-se que a rede que possuiu um melhor desempenho para a caracterização do parâmetro de transporte correspondeu a RNA 24, que apresentou um erro padrão da estimativa equivalente a 0,0022, associado a um coeficiente de determinação de 0,9996.

TABELA 12 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA O PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE TREINAMENTO 01

RNA	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4	RNA 5	RNA 6	RNA 7	RNA 8	RNA 9	RNA 10
R^2	0,9213	0,9995	0,9957	0,9982	0,9985	0,9664	0,9958	0,9980	0,7234	0,9891
EPE	0,0370	0,0025	0,0069	0,0044	0,0041	0,0207	0,0070	0,0047	0,0643	0,0111
RNA	RNA 11	RNA 12	RNA 13	RNA 14	RNA 15	RNA 16	RNA 17	RNA 18	RNA 19	RNA 20
R^2	0,9974	0,9918	0,9897	0,9977	0,9933	0,9952	0,9967	0,9759	0,9943	0,9241
EPE	0,0055	0,0097	0,0107	0,0050	0,0092	0,0074	0,0061	0,0179	0,0087	0,0304
RNA	RNA 21	RNA 22	RNA 23	RNA 24	RNA 25					
R^2	0,9539	0,9555	0,9906	0,9996	0,9618					
EPE	0,0235	0,0246	0,0102	0,0022	0,0234					

FONTE: O AUTOR (2018)

O conjunto de simulação 01 foi apresentado a todas as 25 topologias, de maneira a avaliar a capacidade de generalização de todas as redes para padrões de entrada diferentes dos apresentados na fase de aprendizagem.

Assim, ao testar todas as 25 redes neurais com o conjunto de simulação 01, que foi composto pela outra metade dos dados experimentais não selecionados para o conjunto de treinamento 01 notou-se que, para o parâmetro de transporte a rede que obteve o melhor desempenho correspondeu a RNA 20. A RNA 20 apresentou um erro padrão da estimativa equivalente a 0,0305 associado a um coeficiente de determinação equivalente a 0,7913. Os valores dos erros padrões das estimativas e do coeficiente de determinação apresentado na Tabela 13 para o conjunto de simulação 01, é equivalente a comparação do resultado fornecidos pelas RNA pelos valores calculados através da equação (44).

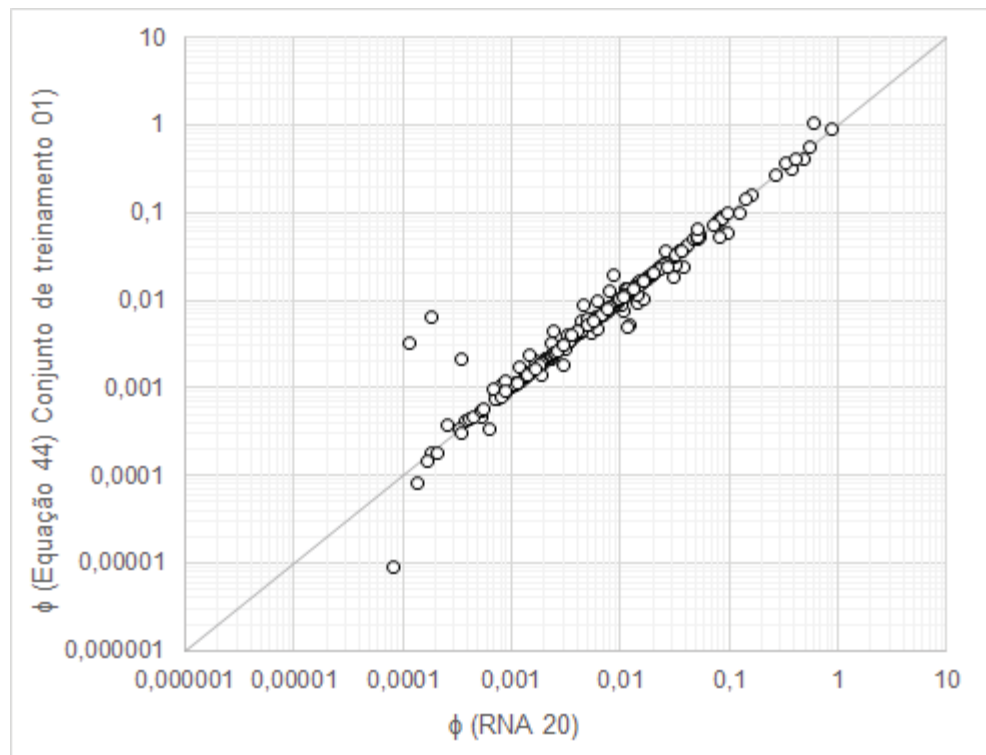
TABELA 13 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAS PARA O PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01

RNA	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4	RNA 5	RNA 6	RNA 7	RNA 8	RNA 9	RNA 10
R²	0,7385	0,7128	0,6699	0,5942	0,6824	0,8169	0,7371	0,7875	0,7640	0,7238
EPE	0,0661	0,0751	0,0845	0,1169	0,0645	0,0487	0,0702	0,0641	0,0305	0,0823
RNA	RNA 11	RNA 12	RNA 13	RNA 14	RNA 15	RNA 16	RNA 17	RNA 18	RNA 19	RNA 20
R²	0,4425	0,8279	0,7908	0,8226	0,8140	0,7285	0,7947	0,6911	0,8722	0,7913
EPE	0,0822	0,0591	0,0893	0,0567	0,0632	0,0440	0,0599	0,0428	0,0685	0,0305
RNA	RNA 21	RNA 22	RNA 23	RNA 24	RNA 25					
R²	0,7613	0,6587	0,7142	0,8543	0,8903					
EPE	0,0760	0,0550	0,0502	0,0569	0,0356					

FONTE: O AUTOR (2018)

Na Figura 13 está apresentada a relação entre os valores do parâmetro de transporte calculados pela RNA 20 e os valores calculados através da equação (44) para os experimentos no conjunto de treinamento 01. Nota-se que a rede neural apresentou um desempenho satisfatório, entretanto, para valores inferiores a 0,001 alguns pontos a rede apresentou um desvio maior.

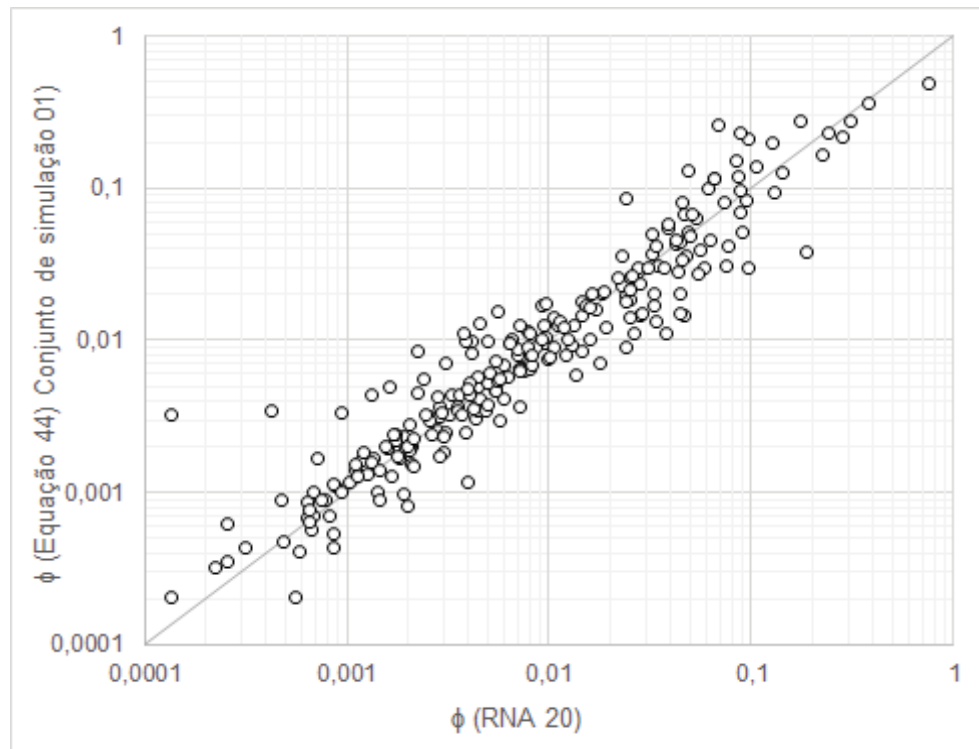
FIGURA 13 – PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO CALCULADOS PELA RNA 20 E VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO (44) – CONJUNTO DE TREINAMENTO 01



FONTE: O AUTOR (2018)

A Figura 14 apresenta a relação entre os valores do conjunto de simulação 01 calculados através da equação (44) e os valores obtidos pela RNA 20. Nota-se que houve um desvio relativamente grande entre os valores calculados com a equação (44) e os valores obtidos com a rede neural. Esses desvios podem indicar que o número de padrões no conjunto de treinamento não foi suficiente para que a rede apresentasse uma boa capacidade de generalização do parâmetro, ainda que em valores compreendidos entre os valores mínimos e máximos observados no conjunto de treinamento.

FIGURA 14 – PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO CALCULADOS PELA RNA 20 E VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO (44) – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01



FONTE: O AUTOR (2018)

4.2.1.2 Determinação da tensão tangencial adimensional compensada no limite de deposição

Com a determinação do parâmetro de transporte, resta a determinação da Tensão tangencial adimensional compensada no fundo do tubo, para condições do escoamento no limite de deposição. Assim como na determinação do parâmetro de transporte, para a caracterização deste parâmetro foram analisados os desempenhos de 25 redes neurais apresentadas na Tabela 7.

O conjunto de treinamento foi composto por 254 padrões de entrada contendo as variáveis referentes a concentração volumétrica, diâmetro do tubo, diâmetro da partícula de sedimento, rugosidade do tubo, declividade longitudinal, número de Reynolds da partícula, velocidade de corte, velocidade média do escoamento, relação entre a tensão tangencial média e a tensão tangencial no fundo da galeria e raio hidráulico. Ao final da fase de aprendizagem, o desempenho das redes neurais foi analisado de acordo com o erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação (R^2) calculado individualmente para cada topologia. Os valores destes coeficientes

obtidos a partir da comparação dos valores calculados a partir de experimentos e os resultantes das redes neurais estão apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA A TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE TREINAMENTO 01

RNA	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4	RNA 5	RNA 6	RNA 7	RNA 8	RNA 9	RNA 10
R^2	0,9998	0,9997	0,9995	0,9999	0,9998	0,9989	0,9984	0,9986	0,9998	0,9969
EPE	0,0008	0,0003	0,0014	0,0005	0,0010	0,0022	0,0027	0,0025	0,0010	0,0037
RNA	RNA 11	RNA 12	RNA 13	RNA 14	RNA 15	RNA 16	RNA 17	RNA 18	RNA 19	RNA 20
R^2	0,9989	0,9944	0,9949	0,9973	0,9975	0,9987	0,9967	0,9974	0,9978	0,9973
EPE	0,0022	0,0048	0,0056	0,0033	0,0033	0,0023	0,0039	0,0033	0,0032	0,0033
RNA	RNA 21	RNA 22	RNA 23	RNA 24	RNA 25					
R^2	0,9904	0,9879	0,9994	0,9875	0,9975					
EPE	0,0067	0,0072	0,0016	0,0078	0,0033					

FONTE: O AUTOR (2018)

Analisando a Tabela 14 nota-se que a rede que possuiu um melhor desempenho para a caracterização do parâmetro de transporte correspondeu a RNA 2, apresentando um erro padrão da estimativa de 0,0003 associado a um coeficiente de determinação de valor 0,9997.

De maneira análoga ao executado para a determinação do parâmetro de transporte, para a determinação da tensão adimensional compensada, apresentou-se o conjunto de simulação para todas as 25 redes neurais. Dado que, conforme já observado com o parâmetro de transporte, apesar da rede possuir uma aderência boa aos pontos do conjunto de treinamento, ela pode divergir quando apresentada a padrões diferentes, ainda que no mesmo domínio dos padrões apresentados no conjunto de treinamento 01.

Desta forma, ao testar todas as 25 redes neurais com o conjunto de simulação 01, notou-se que para a tensão adimensional compensada, a rede que obteve o melhor desempenho para os dados do conjunto de simulação correspondeu a RNA 4. A RNA 2, repetiu um desempenho muito bom para a determinação da tensão tangencial adimensional compensada no conjunto de simulação 01. Entretanto, a RNA 4 possuiu um desempenho ligeiramente superior, motivo pelo qual foi selecionada como a rede com a topologia que melhor generaliza a determinação desse parâmetro. O erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação apresentados na Tabela 15 para o conjunto de simulação é referente a comparação do resultado das respostas

fornecidas pelas redes neurais artificiais e pelos valores calculados através da equação (59).

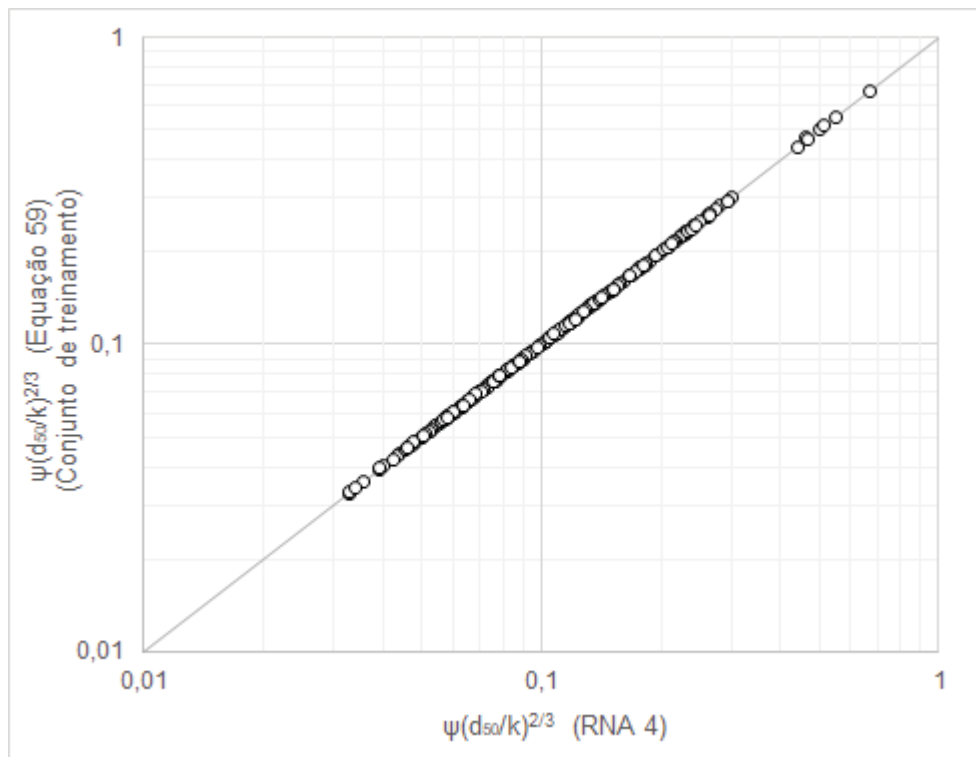
TABELA 15 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA A TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01

RNA	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4	RNA 5	RNA 6	RNA 7	RNA 8	RNA 9	RNA 10
R²	0,9434	0,9978	0,9974	0,9992	0,9986	0,9985	0,9945	0,9981	0,9960	0,9966
EPE	0,0205	0,0041	0,0045	0,0025	0,0033	0,0034	0,0067	0,0038	0,0055	0,0055
RNA	RNA 11	RNA 12	RNA 13	RNA 14	RNA 15	RNA 16	RNA 17	RNA 18	RNA 19	RNA 20
R²	0,9988	0,9927	0,9828	0,9937	0,9783	0,9877	0,9903	0,9846	0,9969	0,9605
EPE	0,0031	0,0073	0,0118	0,0068	0,0130	0,0095	0,0089	0,0108	0,0049	0,0171
RNA	RNA 21	RNA 22	RNA 23	RNA 24	RNA 25					
R²	0,9761	0,9703	0,9854	0,9734	0,9828					
EPE	0,0155	0,0148	0,0115	0,0148	0,0113					

FONTE: O AUTOR (2018)

A relação entre os valores da tensão tangencial adimensional compensada calculada dos padrões de entrada do conjunto de treinamento 01 e dos valores obtidos através da RNA 4 estão apresentadas na Figura 15. Nota-se que a aderência entre os dois valores é muito boa, não havendo variação significativa entre os dados obtidos pela RNA e os dados calculados com a equação (59).

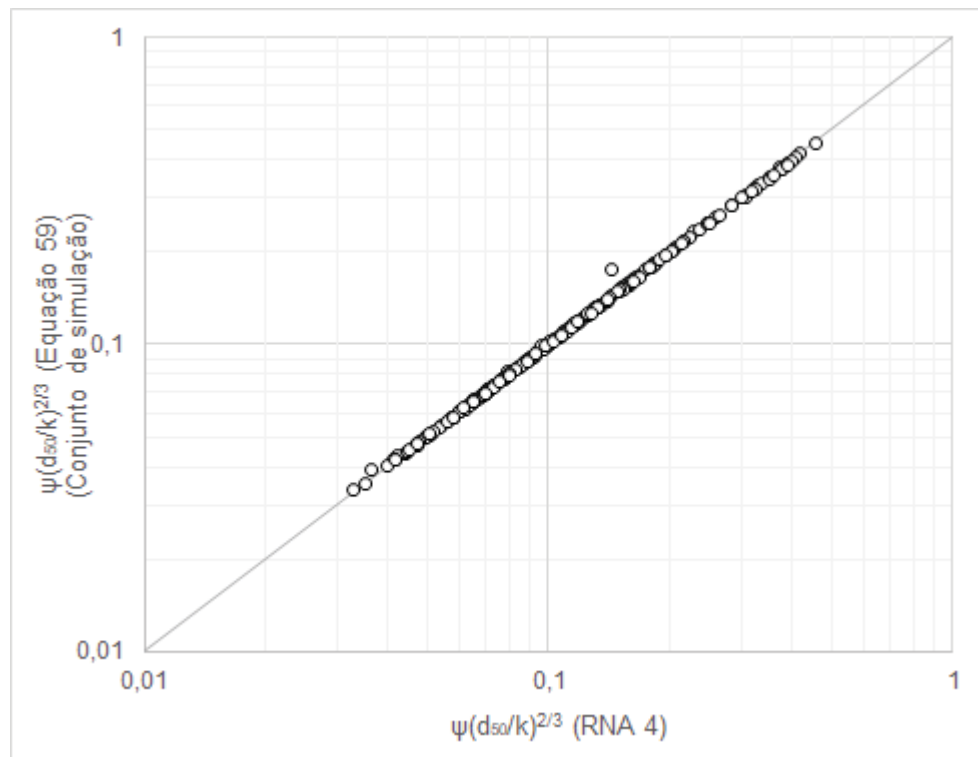
FIGURA 15 – TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO OBTIDOS PELA RNA 4 E VALORES CALCULADOS COM A EQUAÇÃO (59) – CONJUNTO DE TREINAMENTO 01



FONTE: O AUTOR (2018)

De maneira similar pode-se observar o comportamento da RNA 4 para os valores da tensão tangencial adimensional compensada obtidos ao apresentar o conjunto de simulação 01 à rede e os valores obtidos com a equação (59) se aproximam sem apresentar desvios significativos. A Figura 16 apresenta essa relação.

FIGURA 16 – TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO OBTIDOS PELA RNA 4 E VALORES CALCULADOS COM A EQUAÇÃO (59) – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01



FONTE: O AUTOR (2018)

4.2.1.3 Determinação do limite de deposição – Conjunto de simulação 01

Após a seleção das redes que melhor generalizam o comportamento do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada, determinou-se o limite de deposição de sedimentos. A determinação desse limite foi realizada através da correlação entre o parâmetro de transporte e a tensão tangencial adimensional compensada, no limite da deposição, obtidas através das respostas das redes para o conjunto de simulação 01.

Com esses resultados foi realizado o ajuste de uma curva com a mesma configuração da equação (83).

As redes neurais utilizadas para a caracterização do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada corresponderam as redes RNA 20 e RNA 4, respectivamente.

Utilizando os dados obtidos pelas RNA referente ao parâmetro de transporte e a tensão adimensional compensada, obtidos apenas pelos padrões contidos no

conjunto de simulação 01, e relacionando-os é possível obter a equação (84), a qual determina o limite de deposição.

$$\phi \approx 1,26 \left[\psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{2/3} \right]^{2,04} \quad (84)$$

Onde ϕ corresponde ao parâmetro de transporte e $\psi(d_{50}/k)^{2/3}$ a tensão tangencial adimensional compensada.

Ao desenvolver a equação (84) juntamente com as equações (78) e (79), é possível obter uma relação que determine a velocidade, a concentração volumétrica e a declividade no limite de deposição, essas relações são apresentadas nas equações (85), (86) e (87), respectivamente.

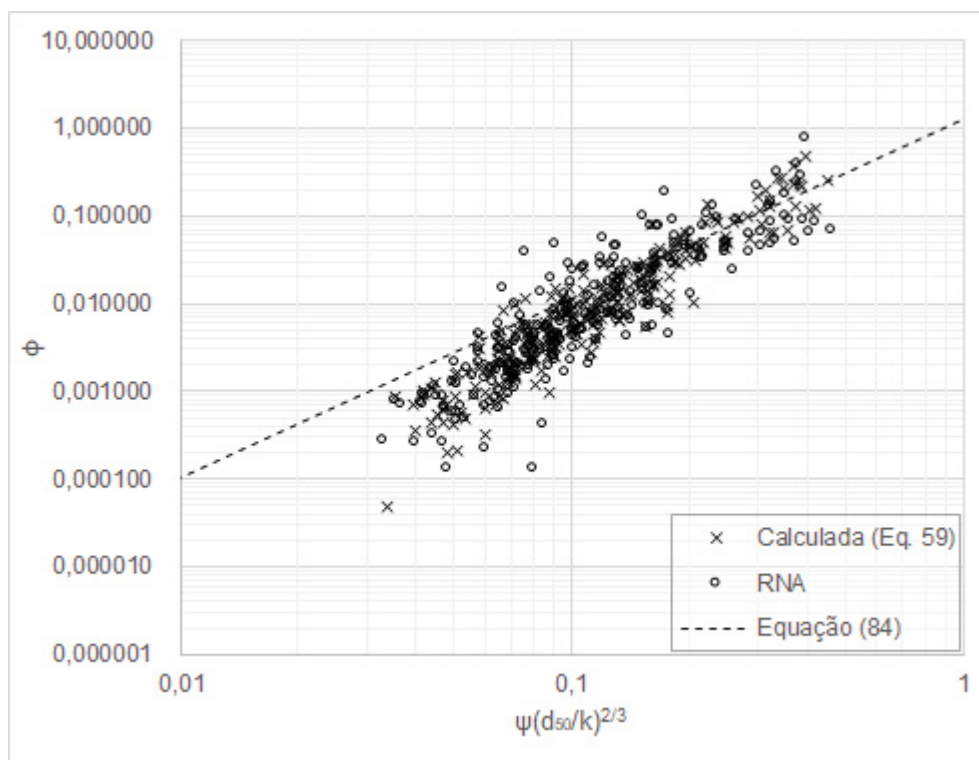
$$\frac{V_c}{\sqrt{g(S_s - 1)d_{50}}} = 0,944 \xi^{-0,663} C_v^{0,325} \left(\frac{R_h}{d_{50}} \right)^{0,325} \left(\frac{k}{d_{50}} \right)^{0,44} \left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \right)^{-1,325} \quad (85)$$

$$C_v = 1,26 \xi^{2,04} \left[\frac{S}{(S_s - 1)} \right]^{1,54} \left(\frac{R_h}{d_{50}} \right)^{0,54} \sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{1,35} \quad (86)$$

$$S_{min} = 0,861 (S_s - 1) \xi^{-1,325} C_v^{0,650} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{0,351} \left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \right)^{-0,650} \left(\frac{k}{d_{50}} \right)^{0,8775} \quad (87)$$

Na Figura 17 está apresentada a comparação entre os valores do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada obtidos pela rede e os mesmos valores calculados através das equações (44) e (59), respectivamente. Observa-se também a equação (84).

FIGURA 17 – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NO FUNDO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 01



FONTE: O AUTOR (2018)

Ao analisar a Figura 17, observa-se que houve uma dispersão razoável entre os dados experimentais, calculados através das equações (44) e (59), e os dados previstos pelas RNA. O motivo dessa dispersão está associado à dispersão apresentada pela RNA 20 ao estimar os valores do parâmetro de transporte para os pontos no conjunto de simulação 01.

A Tabela 16 apresenta o desempenho da equação (84) nos conjuntos de treinamento 01, simulação 01 e para todos os dados experimentais.

TABELA 16 – DESEMPENHO DA EQUAÇÃO (84)

Conjunto	R ²	EPE
Treinamento 01 (254 experimentos)	0,7954	0,0596
Simulação 01 (254 experimentos)	0,7545	0,0307
Todos (508 experimentos)	0,7698	0,0474

FONTE: O AUTOR (2018)

Nota-se na Tabela 16 que nos resultados apresentados, a equação apresentou um menor erro padrão da estimativa quando avaliada com os pontos no conjunto de simulação 01, correspondente a 0,0307, devido a equação ter sido ajustada utilizando o resultado das redes para esse conjunto. Quando analisada utilizando o conjunto de

treinamento 01, a equação (84) apresentou o erro padrão da estimativa mais elevado, equivalente a 0,0596, ainda que associado ao coeficiente de determinação mais próximo de 1, equivalente a 0,7954.

Na Tabela 17 está apresentado o desempenho da RNA 20 para os conjuntos de treinamento 01, simulação 01 e para todos os dados experimentais analisados.

TABELA 17 – DESEMPENHO DA RNA 20

Conjunto	R ²	EPE
Treinamento 01 (254 experimentos)	0,9241	0,0304
Simulação 01 (254 experimentos)	0,7913	0,0305
Todos (508 experimentos)	0,8735	0,0304

FONTE: O AUTOR (2018)

Observa-se que no geral o desempenho da RNA 20 é superior ao desempenho da equação (84), apresentando valores do erro padrão da estimativa inferiores e coeficiente de determinação superiores dos observados ao comparar o resultado da equação (84).

Isso indica que, ao utilizar uma equação ajustada aos pontos fornecidos pela RNA o resultado da estimativa piora, levando a concluir que a utilização de uma RNA conduz a resultados mais satisfatórios na determinação do limite de deposição em galerias de drenagem do que as equações de regressão.

4.2.2 Conjunto de treinamento 02

Após a determinação do limite de deposição de sedimentos em tubos utilizando o conjunto de treinamento 01, que é composto por metade dos dados experimentais de May (1993), Mayerle (1988), Ab Ghani (1993) e Ota (1999), as mesmas topologias foram analisadas utilizando um conjunto de treinamento mais abrangente, contendo 75% dos experimentos publicados pelos mesmos autores supracitados.

De maneira análoga ao executado no Item 4.2.1, todas as topologias apresentadas na Tabela 7 foram treinadas, dessa vez utilizando o conjunto de treinamento 02. Após a fase de aprendizado, as mesmas redes foram submetidas ao conjunto de simulação 02, composto pelo restante dos dados experimentais não selecionados no conjunto de treinamento 02. Essa análise foi realizada de modo a identificar problemas de *overfitting* e *underfitting* além de identificar qual a topologia

que melhor generaliza o comportamento da variável. A seleção da rede com o melhor desempenho correspondeu a rede com o menor erro padrão da estimativa.

O conjunto de simulação 02 foi novamente apresentado à rede com maior capacidade de generalização, desta maneira com o objetivo de extrair os valores do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada para os experimentos contemplados no conjunto de simulação 02.

Com os valores obtidos através da RNA, ajustaram-se equações destinadas à determinação da velocidade mínima, declividade mínima e concentração volumétrica no limite de deposição.

4.2.2.1 Determinação do Parâmetro de Transporte no limite de deposição

Inicialmente as 25 topologias apresentadas na Tabela 7 foram novamente treinadas com um conjunto de treinamento 02, contendo 381 padrões de entrada compostos das variáveis correspondentes a concentração volumétrica, diâmetro do tubo, diâmetro da partícula de sedimento, rugosidade do tubo, declividade longitudinal, número de Reynolds da partícula, velocidade de corte, velocidade média do escoamento, relação entre a tensão tangencial média e a tensão tangencial no fundo da galeria e raio hidráulico. Com a fase de aprendizagem concluída, o desempenho das redes neurais foi avaliado com a utilização do erro padrão da estimativa e do coeficiente de determinação (R^2), o qual é apresentado individualmente para cada topologia de rede na Tabela 18.

TABELA 18 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA O PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE TREINAMENTO 02

RNA	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4	RNA 5	RNA 6	RNA 7	RNA 8	RNA 9	RNA 10
R²	0,9951	0,9947	0,9868	0,9985	0,9980	1,0000	0,9876	0,8272	0,9994	0,9923
EPE	0,0074	0,0072	0,0109	0,0036	0,0041	0,0005	0,0103	0,0383	0,0022	0,0093
RNA	RNA 11	RNA 12	RNA 13	RNA 14	RNA 15	RNA 16	RNA 17	RNA 18	RNA 19	RNA 20
R²	0,9061	0,9975	0,9956	0,9763	0,9595	0,9798	0,9949	0,9922	0,9759	0,9966
EPE	0,0296	0,0046	0,0061	0,0143	0,0196	0,0137	0,0066	0,0080	0,0176	0,0056
RNA	RNA 21	RNA 22	RNA 23	RNA 24	RNA 25					
R²	0,9940	0,9828	0,9918	0,9857	0,9600					
EPE	0,0071	0,0122	0,0085	0,0111	0,0197					

FONTE: O AUTOR (2018)

Ao analisar a Tabela 18 observa-se que a RNA 6 apresentou o menor erro padrão da estimativa, equivalente a 0,0005, indicando um menor desvio dos padrões contidos no conjunto de treinamento, associado a um coeficiente de determinação de 1,000.

De forma análoga as avaliações anteriormente apresentadas, o conjunto de simulação 02 foi apresentado a cada uma das 25 redes neurais, de forma a avaliar o desempenho das redes para um conjunto de pontos diferentes dos pontos contidos no conjunto de treinamento 02 apresentado para as redes na fase de aprendizado. Essa etapa tem como objetivo avaliar se a RNA 6, que melhor se adaptou ao conjunto de treinamento 02, também é a rede mais indicada para a generalização do problema. A Tabela 19 apresenta os valores dos coeficientes de determinação para cada uma das 25 redes neurais, quando apresentadas ao conjunto de simulação.

TABELA 19 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNA PARA O PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 02

RNA	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4	RNA 5	RNA 6	RNA 7	RNA 8	RNA 9	RNA 10
R²	0,9630	0,8458	0,8673	0,7662	0,7799	0,7798	0,8630	0,9148	0,7712	0,9075
EPE	0,0160	0,0767	0,0532	0,0627	0,0421	0,0465	0,0590	0,0215	0,0559	0,0408

RNA	RNA 11	RNA 12	RNA 13	RNA 14	RNA 15	RNA 16	RNA 17	RNA 18	RNA 19	RNA 20
R²	0,9647	0,6853	0,6889	0,8483	0,7550	0,8335	0,8313	0,7599	0,8625	0,8687
EPE	0,0125	0,0596	0,0611	0,0473	0,0600	0,0650	0,0589	0,0612	0,0597	0,0464

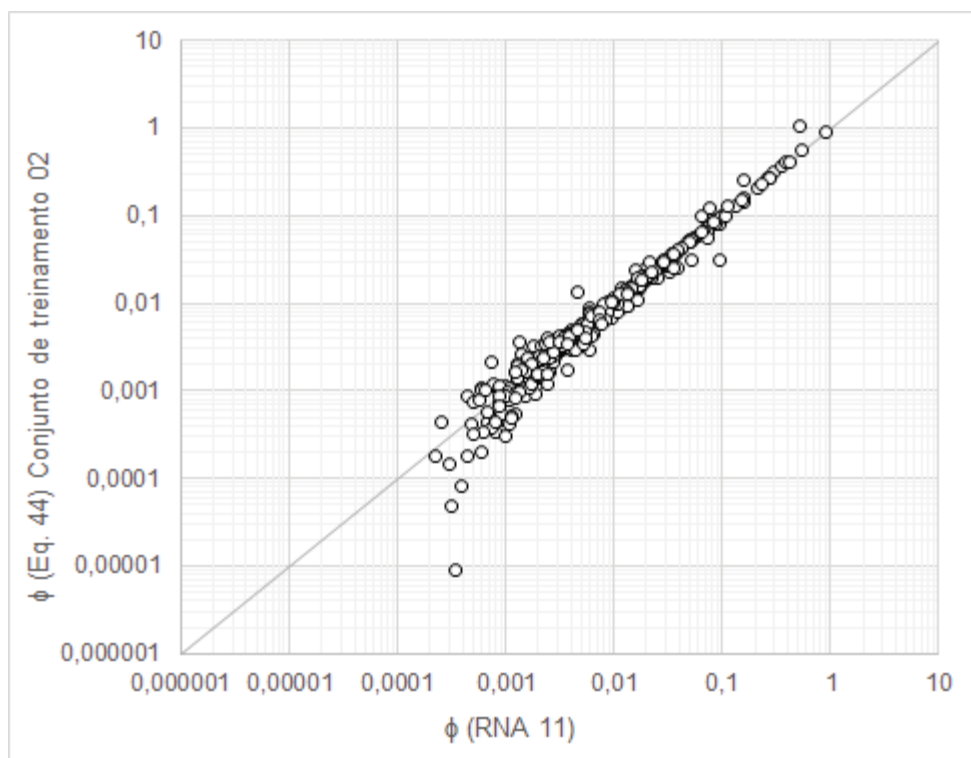
RNA	RNA 21	RNA 22	RNA 23	RNA 24	RNA 25
R²	0,8544	0,8646	0,9020	0,7884	0,9541
EPE	0,0601	0,0343	0,0403	0,0434	0,0206

FONTE: O AUTOR (2018)

Ao analisar a Tabela 19, nota-se que a RNA 6 não correspondeu à rede com o menor erro padrão da estimativa quando apresentada ao conjunto de simulação. A rede que obteve o melhor desempenho para o conjunto de simulação para a determinação do parâmetro de transporte em condições incipientes de movimento correspondeu a RNA 11, com um erro padrão da estimativa equivalente a 0,0125 associado a um coeficiente de determinação equivalente a 0,9647.

A Figura 18 apresenta a relação entre o valor do parâmetro de transporte calculado para os pontos do conjunto de treinamento 02, formado pelos experimentos não contemplados no conjunto de treinamento através da equação (44), e os valores obtidos pela RNA 11 para os mesmos padrões.

FIGURA 18 – PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DETERMINADOS PELA RNA 11 E VALORES OBTIDOS EXPERIMENTALEMTE CALCULADOS PELA EQUAÇÃO (44) – CONJUNTO DE TREINAMENTO 02

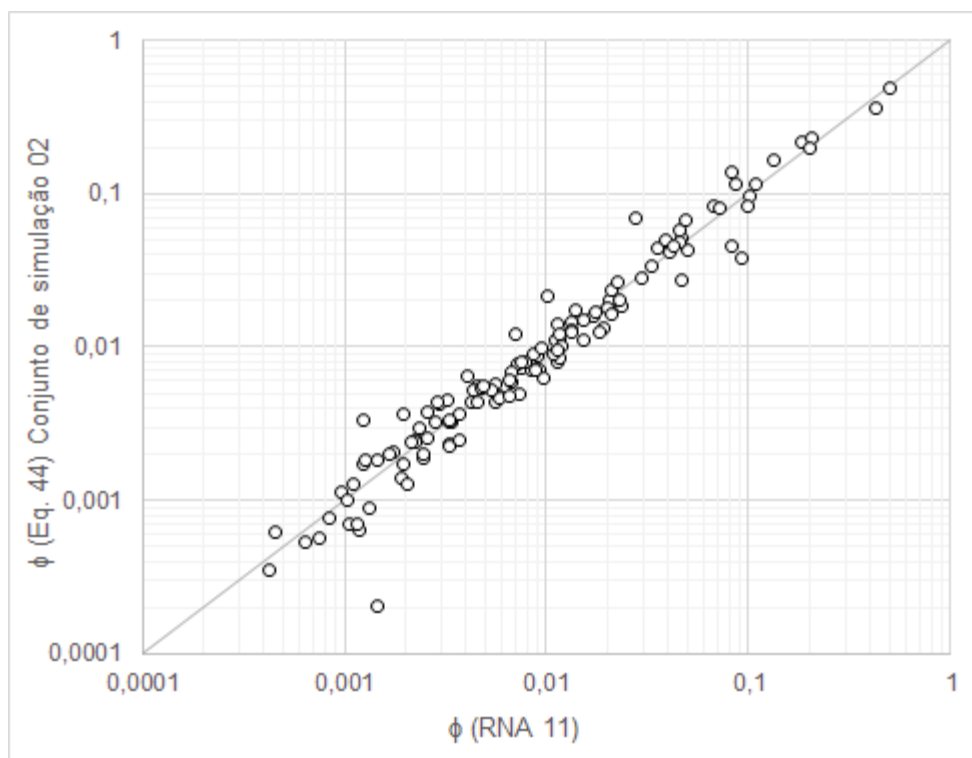


FONTE: O AUTOR (2018)

Observa-se na Figura 18 que para valores inferiores a 0,001, a RNA 11 apresentou maiores dificuldades para a determinação do parâmetro de transporte. Entretanto, a correlação entre os pontos calculados pela equação (44) e obtidos pela RNA 11 está satisfatória.

Por fim, na Figura 19 estão apresentados os valores do parâmetro de transporte calculados através da equação (44) e os valores obtidos pela RNA 2 para o conjunto de simulação 02. Observa-se que, apesar de haver desvios, a aderência dos pontos obtidos pela RNA 11 é melhor em comparação aos valores do parâmetro de transporte previstos na análise do conjunto de simulação 01.

FIGURA 19 – PARÂMETRO DE TRANSPORTE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO CALCULADOS PELA RNA 11 E VALORES OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE CALCULADOS PELA EQUAÇÃO (44) – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 02



FONTE: O AUTOR (2018)

4.2.2.2 Determinação da tensão tangencial adimensional compensada no limite de deposição

Por fim, após a determinação do parâmetro de transporte, a caracterização da tensão tangencial adimensional compensada foi executada a partir do treinamento das 25 redes neurais artificiais apresentadas na Tabela 7, utilizando o conjunto de treinamento 02. Esse conjunto é formado por 381 padrões de entrada obtidos através das análises experimentais de May (1993), Mayerle (1988), Ab Ghani (1993) e Ota (1999), onde cada padrão é composto pelas variáveis referentes a concentração volumétrica, diâmetro do tubo, diâmetro da partícula de sedimento, rugosidade do tubo, declividade longitudinal, número de Reynolds da partícula, velocidade de corte, velocidade média do escoamento, relação entre a tensão tangencial média e a tensão tangencial no fundo da galeria e raio hidráulico. Ao final da fase de aprendizagem, o desempenho das redes neurais foi analisado de acordo com o erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação (R^2) calculado individualmente para cada topologia. Os valores desses coeficientes obtidos a partir da comparação dos valores

calculados a partir de experimentos e os resultantes das redes neurais estão apresentados na Tabela 20.

TABELA 20 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA A TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE TREINAMENTO 02

RNA	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4	RNA 5	RNA 6	RNA 7	RNA 8	RNA 9	RNA 10
R²	0,9990	0,9990	0,9990	0,9991	0,9990	0,9986	0,9990	0,9989	0,9984	0,9985
EPE	0,0028	0,0029	0,0028	0,0027	0,0028	0,0034	0,0029	0,0030	0,0036	0,0035
RNA	RNA 11	RNA 12	RNA 13	RNA 14	RNA 15	RNA 16	RNA 17	RNA 18	RNA 19	RNA 20
R²	0,9990	0,9971	0,9987	0,9945	0,9984	0,9983	0,9992	0,9963	0,9989	0,9969
EPE	0,0028	0,0049	0,0032	0,0068	0,0036	0,0037	0,0026	0,0056	0,0030	0,0050
RNA	RNA 21	RNA 22	RNA 23	RNA 24	RNA 25					
R²	0,9966	0,9988	0,9993	0,9989	0,9953					
EPE	0,0052	0,0031	0,0025	0,0030	0,0064					

FONTE: O AUTOR (2018)

Nota-se a partir da análise da Tabela 20 que a rede que apresentou o melhor desempenho correspondeu a RNA 23, a qual possuiu um valor de erro padrão da estimativa equivalente a 0,0025 associado a um coeficiente de determinação de 0,9993.

De maneira análoga as análises anteriores, todas as RNA foram novamente testadas com o conjunto de simulação 02, composto de 127 padrões de entrada referentes aos experimentos não selecionados na composição do conjunto de treinamento 02. Apesar da RNA 23 ter apresentado uma ótima aderência para os pontos do conjunto de treinamento 02, a mesma pode apresentar um comportamento distinto quando apresentada a valores novos, ainda que entre os limites do conjunto de treinamento 02. Por este motivo, essa avaliação é executada de maneira a buscar uma rede neural que generalize o comportamento de tal parâmetro a partir de um conjunto de variáveis diferentes dos valores contidos no conjunto de treinamento 02. A Tabela 21 apresenta os valores dos coeficientes de determinação para cada RNA, quando apresentadas ao conjunto de simulação.

TABELA 21 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (EPE) DAS RNAs PARA A TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 02

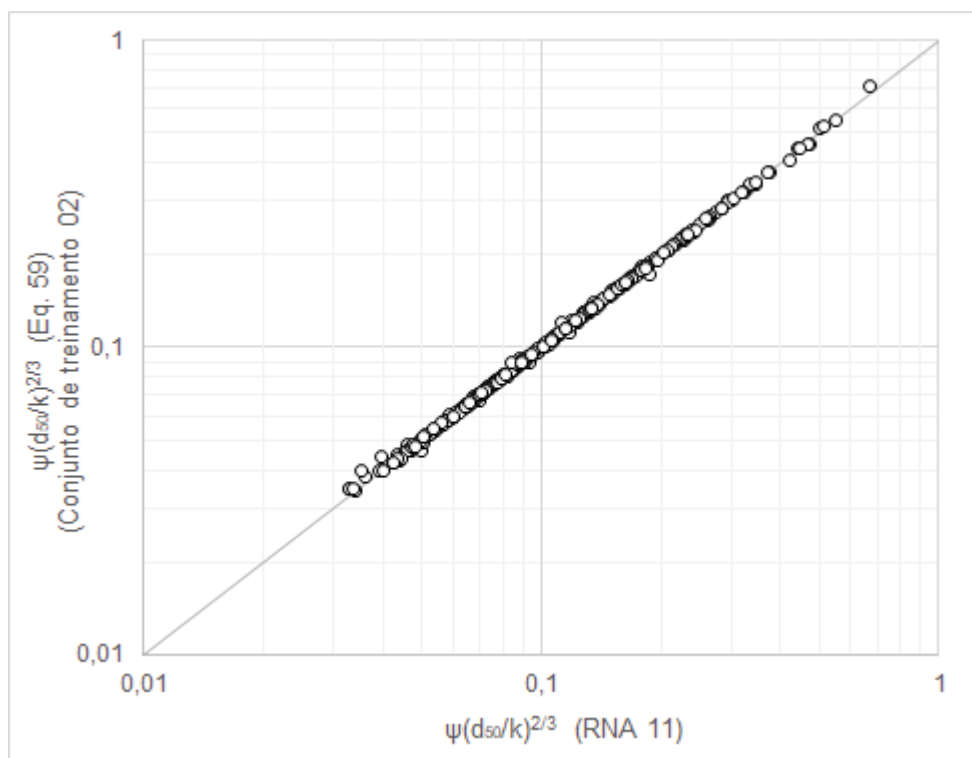
RNA	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4	RNA 5	RNA 6	RNA 7	RNA 8	RNA 9	RNA 10
R^2	0,9987	0,9987	0,9987	0,9987	0,9986	0,9984	0,9987	0,9982	0,9987	0,9985
EPE	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0031	0,0033	0,0030	0,0036	0,0030	0,0032
RNA	RNA 11	RNA 12	RNA 13	RNA 14	RNA 15	RNA 16	RNA 17	RNA 18	RNA 19	RNA 20
R^2	0,9988	0,9964	0,9974	0,9985	0,9981	0,9984	0,9980	0,9970	0,9979	0,9933
EPE	0,0029	0,0050	0,0042	0,0032	0,0037	0,0033	0,0038	0,0046	0,0038	0,0068
RNA	RNA 21	RNA 22	RNA 23	RNA 24	RNA 25					
R^2	0,9919	0,9980	0,9965	0,9970	0,9942					
EPE	0,0080	0,0039	0,0049	0,0046	0,0067					

FONTE: O AUTOR (2018)

Analisando a Tabela 21 nota-se que a RNA 23, a qual anteriormente havia apresentado o melhor desempenho para o conjunto de treinamento 02, não apresentou o melhor desempenho quando apresentada ao conjunto de simulação 02. Entretanto a RNA 11 apresentou um erro padrão da estimativa equivalente a 0,0029 associado a um coeficiente de determinação equivalente a 0,9988, o qual demonstra sua capacidade maior de generalização para a determinação da tensão tangencial adimensional compensada no fundo de tubos.

A relação entre os valores da tensão tangencial adimensional compensada obtidos pela RNA 11 e os valores calculados para o conjunto de treinamento estão apresentadas na Figura 20.

FIGURA 20 – TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO CALCULADOS PELA RNA 11 E VALORES OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE – CONJUNTO DE TREINAMENTO 02



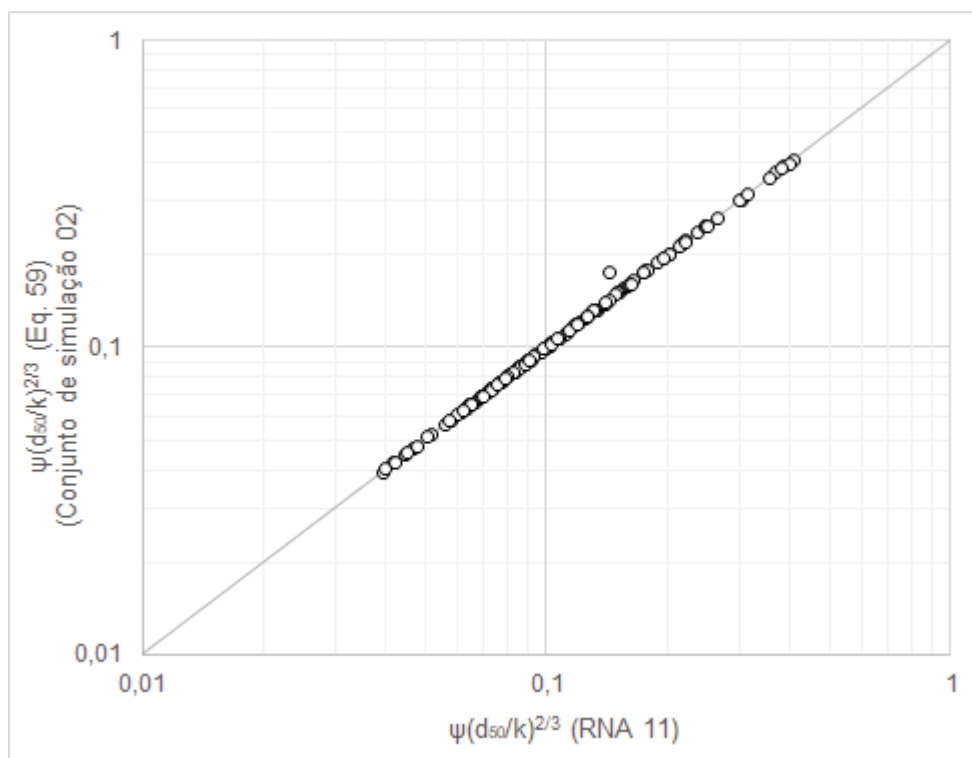
FONTE: O AUTOR (2018)

Analisando a Figura 20 é possível concluir que a RNA 5, a pesar de não apresentar o maior coeficiente de determinação dentre as RNA avaliadas para o conjunto de treinamento, demonstrou um comportamento adequado e satisfatório para a determinação da tensão tangencial adimensional compensada para os padrões contidos no conjunto.

Por fim a Figura 21 apresenta a relação entre os dados do conjunto de simulação obtidos pela RNA 5 e os valores calculados através da equação (59) para a determinação da tensão tangencial adimensional compensada.

Observa-se que, assim como na Figura 20, a RNA 5 apresentou uma performance muito boa para a determinação dos valores da tensão tangencial adimensional compensada, para os padrões de entrada contidos no conjunto de simulação.

FIGURA 21 – TENSÃO TANGENCIAL ADIMENSIONAL COMPENSADA NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO OBTIDOS PELA RNA 11 E VALORES CALCULADOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO (59) – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO 02



FONTE: O AUTOR (2018)

4.2.2.3 Determinação do limite de deposição – Conjunto de simulação 02

Após a seleção das redes que melhore generalizam o comportamento do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada, determinou-se o limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias de drenagem.

A determinação desse limite foi realizada através da correlação entre o parâmetro de transporte e a tensão tangencial adimensional compensada, no limite da deposição, obtidas através das respostas da rede quando apresentadas ao conjunto de simulação 02.

Com esses resultados foi realizado o ajuste de uma curva com a mesma configuração da equação (83). Com a equação definida, é possível tanto avaliar as condições de escoamento em uma galeria existente, quanto determinar critérios para o dimensionamento destas estruturas de modo que não haja o depósito de sedimentos no fundo da galeria, tornando-a autolimpante.

As redes neurais utilizadas para a caracterização do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada corresponderam as redes RNA 11.

Utilizando os dados obtidos pelas RNA referente ao parâmetro de transporte e a tensão adimensional compensada, obtidos apenas pelos padrões contidos no conjunto de simulação 02, e relacionando-os é possível obter a equação (84), a qual determina o limite de deposição.

$$\phi \approx 2,88 \left[\psi \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{2/3} \right]^{2,6} \quad (88)$$

Onde ϕ corresponde ao parâmetro de transporte e $\psi(d_{50}/k)^{2/3}$ a tensão tangencial adimensional compensada.

Ao desenvolver a equação (84) juntamente com as equações (78) e (79), é possível obter uma relação que determine a velocidade, a concentração volumétrica e a declividade da galeria no limite de deposição, essas relações são apresentadas nas equações (85), (86) e (87), respectivamente.

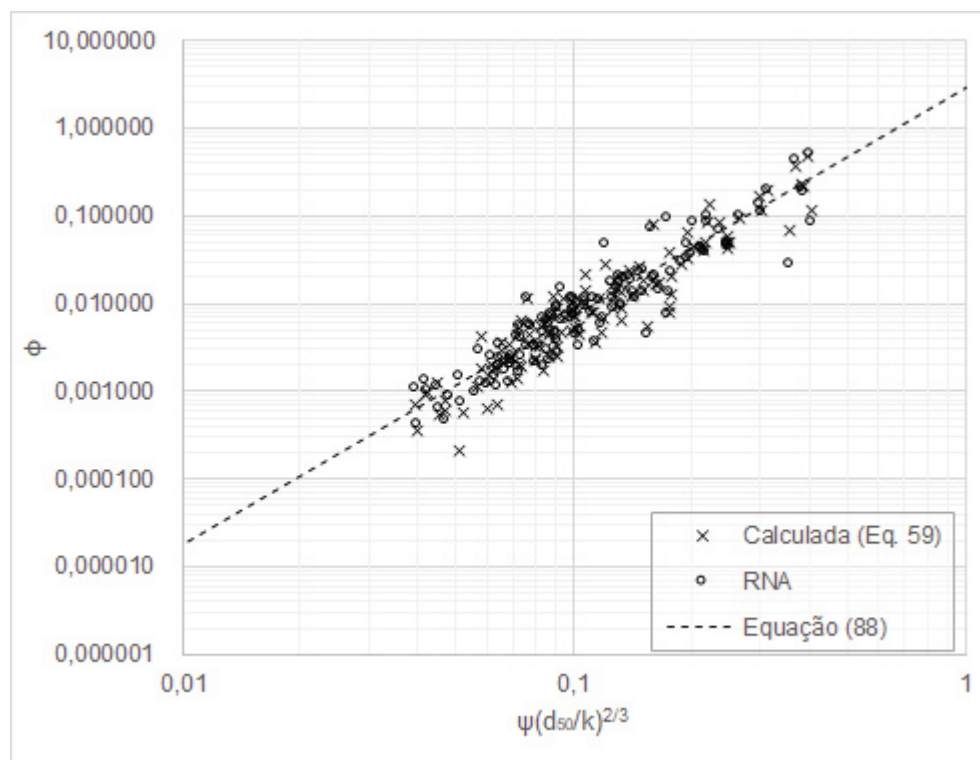
$$\frac{V_c}{\sqrt{g(S_s - 1)d_{50}}} = 0,777 \xi^{-0,619} C_v^{0,238} \left(\frac{R_h}{d_{50}} \right)^{0,238} \left(\frac{k}{d_{50}} \right)^{0,412} \left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \right)^{-1,238} \quad (89)$$

$$C_v = 2,88 \xi^{2,6} \left[\frac{S}{(S_s - 1)} \right]^{2,1} \left(\frac{R_h}{d_{50}} \right)^{1,1} \sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \left(\frac{d_{50}}{k} \right)^{1,732} \quad (90)$$

$$S_{min} = 0,604(S_s - 1) \xi^{-1,24} C_v^{0,476} \left(\frac{d_{50}}{R_h} \right)^{0,524} \left(\sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \right)^{-0,476} \left(\frac{k}{d_{50}} \right)^{0,824} \quad (91)$$

Na Figura 17 está apresentada a comparação entre os valores do parâmetro de transporte e da tensão tangencial adimensional compensada obtidos pela rede e os mesmos valores calculados através das equações (44) e (59), respectivamente. Observa-se também a equação (88).

FIGURA 22 – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NO FUNDO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS



FONTE: O AUTOR (2018)

Ao analisar a Figura 22, observa-se que houveram dispersões entre os dados experimentais, calculados através das equações (44) e (59), e os dados previstos pelas RNA. Entretanto esse desvio foi nitidamente menor do que o desvio observado na determinação do limite de deposição utilizando os conjuntos de treinamento e simulação 01. O principal motivo pelo menor desvio apresentado nas análises utilizando os conjuntos de treinamento e simulação 02 está associado ao menor erro padrão da estimativa apresentado pelas RNA na determinação do parâmetro de transporte.

A Tabela 22 apresenta o desempenho da equação (88) nos conjuntos de treinamento 02, simulação 02 e para todos os dados experimentais.

TABELA 22 – DESEMPENHO DA EQUAÇÃO (88)

Conjunto	R ²	EPE
Treinamento 02 (381 experimentos)	0,8024	0,0408
Simulação 02 (127 experimentos)	0,7490	0,0329
Todos (508 experimentos)	0,7937	0,0390

FONTE: O AUTOR (2018)

Nota-se na Tabela 22 que a equação apresentou um menor erro padrão da estimativa quando avaliada com os pontos no conjunto de simulação 02, correspondente a 0,0329. Quando analisada utilizando o conjunto de treinamento 02, a equação (88) apresentou o erro padrão da estimativa mais elevado, equivalente a 0,0408, ainda que associado ao coeficiente de determinação mais próximo de 1, equivalente a 0,8024.

Na Tabela 23 está apresentado o desempenho da RNA 11 para os conjuntos de treinamento 02, simulação 02 e para todos os dados experimentais analisados.

TABELA 23 – DESEMPENHO DA RNA 11

Conjunto	R ²	EPE
Treinamento 02 (381 experimentos)	0,9061	0,0296
Simulação 02 (127 experimentos)	0,9647	0,0125
Todos (508 experimentos)	0,9114	0,0264

FONTE: O AUTOR (2018)

Observa-se que no geral o desempenho da RNA 11 é superior ao desempenho da equação (88), apresentando valores do erro padrão da estimativa inferiores e coeficiente de determinação superiores dos observados ao comparar a equação (88).

Isso indica que, ao utilizar uma equação ajustada o resultado da estimativa piora, levando a concluir que a utilização de uma RNA conduz a resultados mais satisfatórios na determinação do limite de deposição em galerias de drenagem do que as equações de regressão.

4.3 COMPARAÇÃO DA DECLIVIDADE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO

Após a definição das equações (84) e (88), comparou-se o desempenho dessas equações com as equações de regressão apresentadas no item 2.3 para a determinação do limite de deposição em galerias de drenagem, utilizando todos os dados experimentais disponíveis na literatura.

Como a maioria das equações apresentadas no item 2.3 e na Tabela 8 determinam o número de froude densimétrico, optou-se por demonstrar a declividade no limite de deposição, que foi calculada através da manipulação das mesmas equações. A manipulação das equações foi feita substituindo o valor da velocidade limite pela equação de Manning, e então evidenciando a declividade.

A Tabela 24 apresenta os coeficientes de determinação e os erros padrões da estimativa para cada equação, obtidos ao comparar o dado experimental com as equações de regressão apresentadas, incluindo as equações (85) e (91).

TABELA 24 – ADERÊNCIA DAS EQUAÇÕES PARA A VELOCIDADE NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO

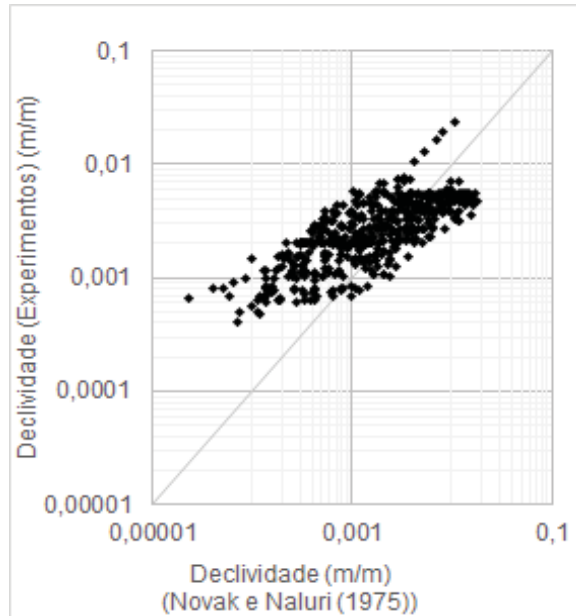
Autor	Erro padrão da estimativa	Coeficiente de determinação
Novak e Nalluri (1975) – Eq. (49)	0,00306	0,29814
Mayerle et al. (1991) – Eq. (48)	0,00247	0,80359
Ab Ghani (1993) – Eq. (54)	0,00096	0,80980
May et al. (1996) – Eq. (56)	0,00218	0,85096
Ota (1999) – Eq. (61)	0,00082	0,86539
Vongvisessomjai et al. (2010) – Eq. (65)	0,00113	0,81303
Ebtehaj et al. (2014) – Eq. (69)	0,00123	0,70607
Equação (85)	0,00123	0,84550
Equação (91)	0,00083	0,87167

FONTE: O AUTOR (2018)

Observa-se que, dentre as equações analisadas a equação (61), a qual corresponde a equação de Ota (1999) apresentou um erro padrão da estimativa mais próximo de 0, indicando uma melhor aderência aos pontos experimentais. Entretanto, a equação (91), definida conforme a tendência apresentada pelas redes neurais artificiais treinadas com o conjunto de treinamento 02, apresentou um erro padrão da estimativa muito próximo ao da equação de Ota (1999) e um coeficiente de correlação ligeiramente superior ao coeficiente de determinação da equação de Ota (1999).

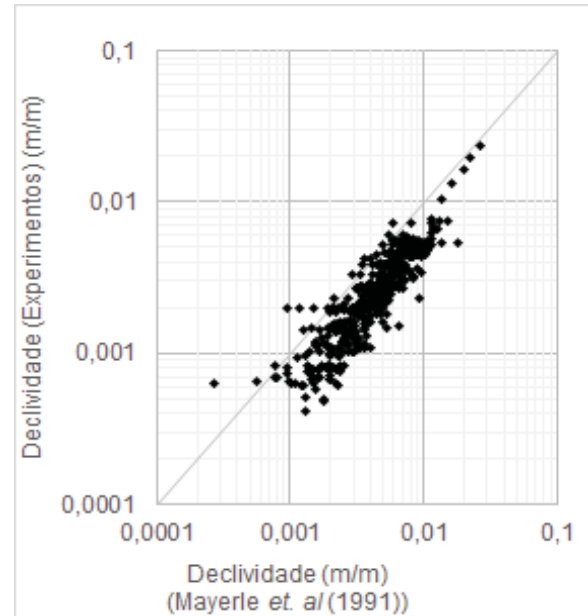
A Figura 23 até a Figura 31 representam a aderência dos pontos calculados utilizando as equações apresentadas na Tabela 8 e todos os dados experimentais. Nota-se que na Figura 30 e na Figura 31 estão apresentadas as aderências aos pontos experimentais dos resultados das equações (85) e (91), respectivamente. A equação de Ota (1999) está representada na Figura 27. Observa-se que a declividade da galeria de drenagem no limite de deposição pode variar muito dependendo da equação utilizada.

FIGURA 23 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (49)



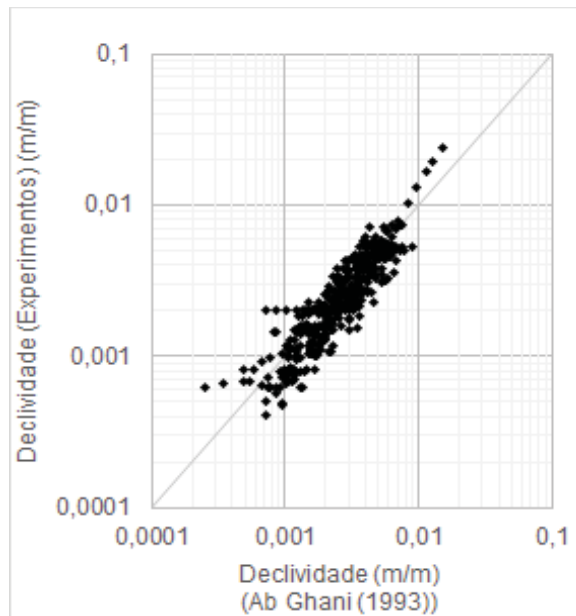
FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 24 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (48)



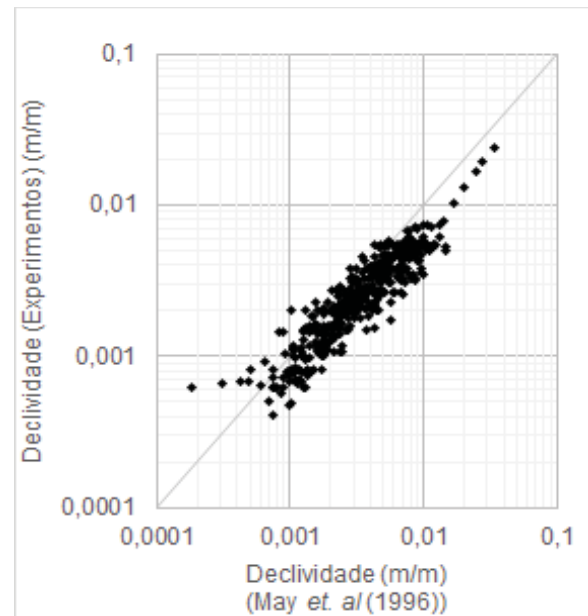
FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 25 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (54)



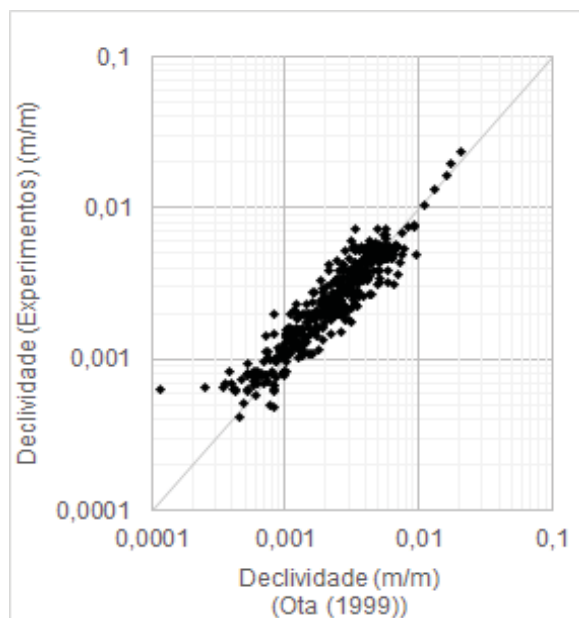
FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 26 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (56)



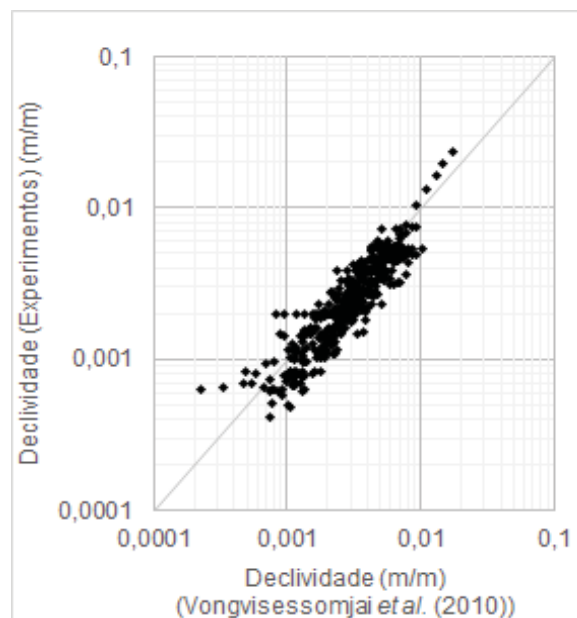
FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 27 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (61)



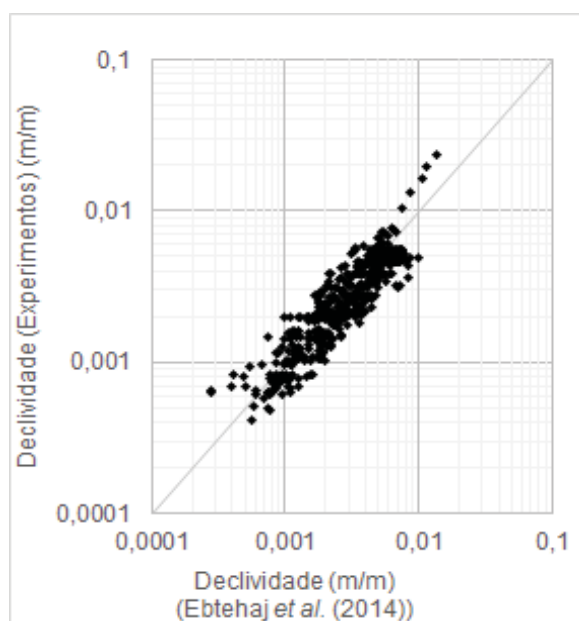
FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 28 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (65)



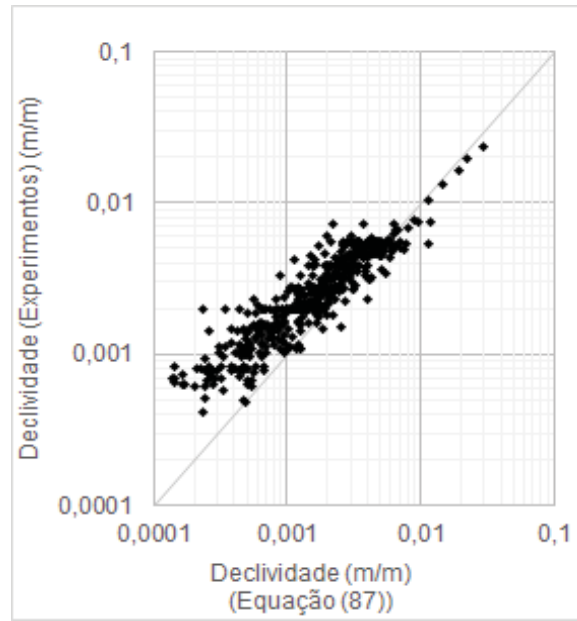
FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 29 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (68)



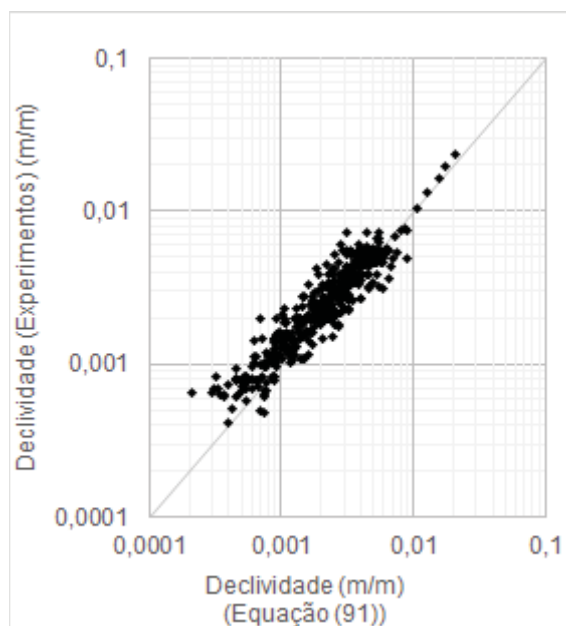
FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 30 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DECLIVIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EXPERIMENTAIS E CALCULADAS COM A EQUAÇÃO (85)



FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 31 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE DECLIVIDADE DOS DADOS EXPERIMENTAIS E OS VALORES OBTIDOS PELA EQUAÇÃO (91)



FONTE: O AUTOR (2018)

Ao observar o desempenho das equações (85) e (91), determinadas através da tendência apresentada pela redes neurais treinadas com o conjunto de simulação 01 e 02, respectivamente, nota-se que a equação (91) apresentou um comportamento superior do que a equação (85). Nitidamente, o desvio entre os valores da declividade no limite de deposição apresentadas entre ambas as equações deve-se ao conjunto de treinamento diferente apresentado para as redes neurais utilizadas para a determinação dessas equações, onde a diferença entre ambas reside na quantidade de dados apresentados às redes neurais na etapa de treinamento. Como a aderência dos pontos foi maior para a equação (91), conclui-se que, entre as equações apresentadas nesta dissertação, esta equação é a mais indicada para a utilização na determinação da declividade longitudinal das galerias de drenagem no limite de deposição, sendo também a mais indicada para dimensionamentos de galerias autolimpantes dimensionadas no limite de deposição.

4.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS EQUAÇÕES APRESENTADAS PARA A EXTRAPOLAÇÃO

Após a obtenção das equações (84) e (88), as quais caracterizam o limite de deposição de sedimentos no fundo de galerias, avaliaram-se os resultados fornecidos no limite de deposição para as extrapolações das equações de regressão apresentadas desta dissertação.

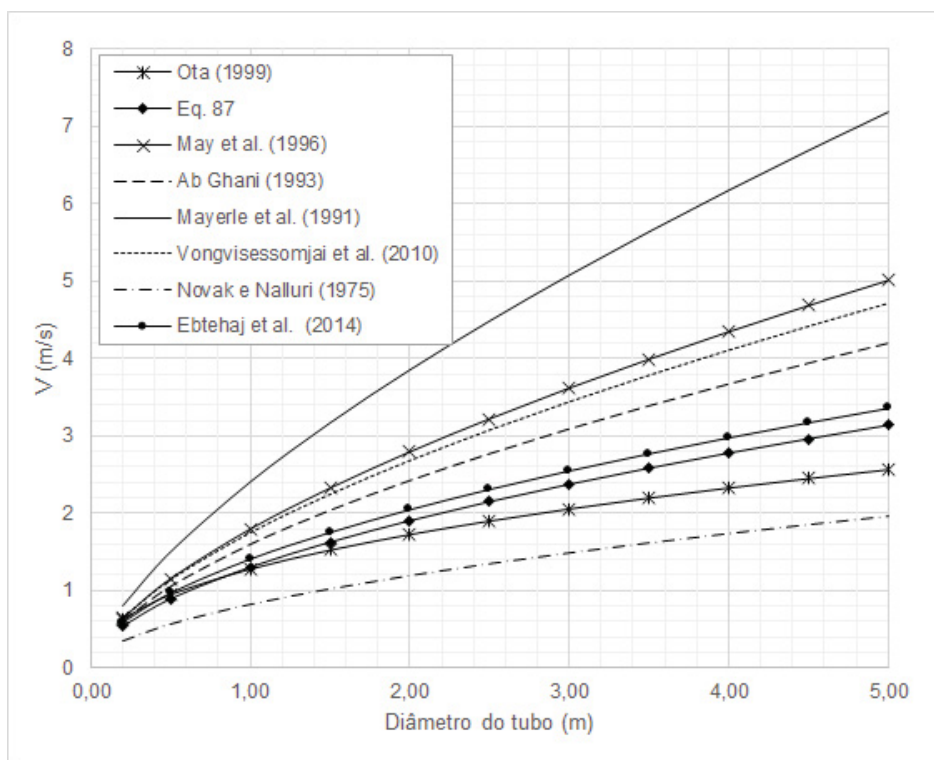
Ressalta-se que a extrapolação foi executada utilizando as equações ajustadas (84) e (88) e não as redes neurais, pois conforme observado no item 4.1 as redes neurais não apresentam resultados confiáveis na extrapolação dos dados do conjunto de treinamento.

Na análise executada, além das equações (84) e (88), foram analisadas as equações apresentadas na Tabela 8.

A análise comparativa aqui apresentada compreende à aplicação de todas as equações citadas em um exemplo de dimensionamento de galeria de drenagem, onde se deseja conhecer a velocidade para garantir a condição autolimpante dos tubos com a variação do diâmetro do tubo.

Considerando para fins de comparação, uma concentração volumétrica equivalente a 50 ppm, diâmetro do grão de sedimento de 1mm, coeficiente de Manning igual a 0,0116 e altura de rugosidade de 0,6mm e aplicando a equação (87) é possível obter a comparação apresentada na Figura 32.

FIGURA 32 – VELOCIDADES NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DO TUBO – COMPARAÇÃO COM A EQUAÇÃO 87



FONTE: O AUTOR (2018)

Observa-se que, ao utilizar a equação gerada a partir dos resultados da rede neural treinada com o conjunto de treinamento 01 (Equação (87)), os resultados fornecidos para o exemplo apresentado se aproximaram mais dos resultados obtidos pela equação (69), apresentando um erro padrão da estimativa equivalente a 0,1570. A Tabela 25 apresenta o erro padrão da estimativa obtido ao comparar os resultados da equação (84) com os resultados das equações apresentadas na Tabela 8.

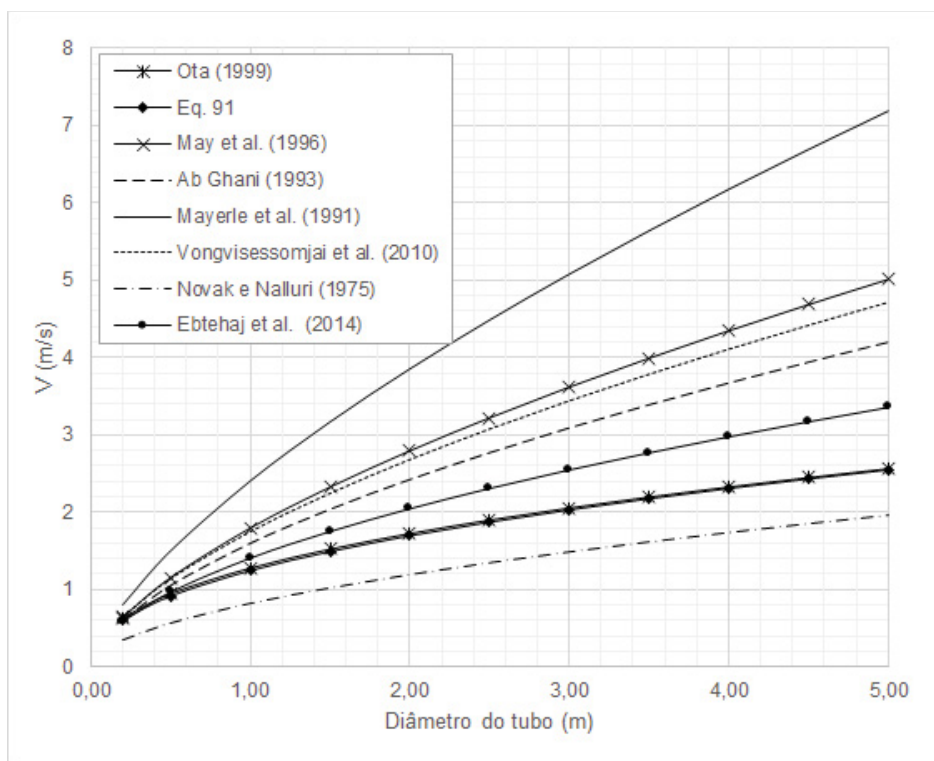
TABELA 25 – COMPARAÇÃO DO ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA DA EQUAÇÃO (87) EM RELAÇÃO ÀS EQUAÇÕES APRESENTADAS NO ITEM 2.2

Autor	Erro padrão da estimativa
Novak e Nalluri (1975) – Eq. (49)	0,8129
Mayerle et al. (1991) – Eq. (48)	2,5552
Ab Ghani (1993) – Eq. (54)	0,6687
May et al. (1996) – Eq. (56)	1,1761
Ota (1999) – Eq. (61)	0,3267
Vongvisessomjai et al. (2010) – Eq. (65)	1,0117
Ebtehaj et al. (2014) – Eq. (69)	0,1570

FONTE: O AUTOR (2018)

Na Figura 33, além das equações apresentadas na Tabela 8, está apresentada a equação (91), definida a partir da tendência apresentada pelas redes neurais utilizando o conjunto de treinamento 02.

FIGURA 33 – VELOCIDADES MÍNIMAS PARA A NÃO DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DO TUBO – COMPARAÇÃO COM A EQUAÇÃO (91)



FONTE: O AUTOR (2018)

Observa-se que, ao utilizar a equação gerada a partir dos resultados da rede treinada com o conjunto de treinamento 02 (Equação (91)), os resultados fornecidos para o exemplo apresentado se aproximaram mais dos resultados obtidos pela equação (62), apresentando um erro padrão da estimativa equivalente a 0,0255. A Tabela 26 apresenta o erro padrão da estimativa que se obtém ao comparar os resultados obtidos pela equação (91) com os resultados das equações apresentadas na Tabela 8.

TABELA 26 – COMPARAÇÃO DO ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA DA EQUAÇÃO (91) EM RELAÇÃO ÀS EQUAÇÕES APRESENTADAS NO ITEM 2.2

Autor	Erro padrão da estimativa
Novak e Nalluri (1975) – Eq. (49)	0,4961
Mayerle et al. (1991) – Eq. (48)	2,8923
Ab Ghani (1993) – Eq. (54)	1,0069
May et al. (1996) – Eq. (56)	1,5142
Ota (1999) – Eq. (61)	0,0255
Vongvisessomjai et al. (2010) – Eq. (65)	1,3491
Ebtehaj et al. (2014) – Eq. (69)	0,4929

FONTE: O AUTOR (2018)

Para a determinação da equação mais indicada na extrapolação do limite de deposição para valores superiores aos observados nos experimentos, analisou-se a aderência das equações ajustadas (Equação (84) e (88)) às respostas das equações de regressão apresentadas na Tabela 8. A partir da identificação do menor erro padrão da estimativa, o qual é associado à equação (88), determinou-se que a equação de regressão que mais se aproxima das respostas fornecidas pela equação (88) corresponde a equação indicada para a extrapolação do limite de deposição. Nesse caso, ao analisar a Tabela 26 nota-se que a equação que mais se aproxima da equação (91), gerada a partir da equação (88), corresponde a equação de Ota (1999), sendo então a mais indicada para extrapolações.

5 CONCLUSÕES

Nesta dissertação, estudou-se inicialmente a capacidade das redes neurais no aprendizado de equações matemáticas. Para isso utilizou-se a equação de Manning por se tratar de uma equação amplamente utilizada e consagrada na literatura, além do mais todos os dados experimentais utilizados neste trabalho satisfazem a equação de Manning.

A partir da análise da capacidade de aprendizagem das RNAs da equação de Manning, verificou-se que todas as topologias treinadas apresentaram uma boa aderência aos dados no conjunto de treinamento, porém quando apresentada a dados diferentes dos apresentados na fase de treinamento, as redes apresentaram resultados distintos.

Verificou-se também que a determinação do limite de extrapolação das redes neurais é impossível de se realizar sem conhecer o comportamento do processo em limites superiores aos apresentados à rede na fase de treinamento.

Para interpolações a topologia da rede é importante. Apesar de todas as topologias analisadas apresentarem uma aderência muito boa aos dados do conjunto de treinamento, redes com topologias diversas apresentam resultados diferentes quando apresentadas a um conjunto contendo pontos distintos dos apresentados na etapa de treinamento.

Dado os resultados das redes neurais para as extrapolações conclui-se que seu uso é apropriado apenas para interpolações.

Após a validação do método para reprodução de equações matemáticas utilizando como referência a equação de Manning, as RNAs foram aplicadas para o aprendizado e determinação do limite de deposição de sedimentos em galerias de drenagem, concluindo que a utilização de RNAs do tipo *Perceptron* Multicamadas apresenta um resultado melhor, para interpolações, do que as equações de regressão já apresentadas na literatura.

Notou-se que os resultados fornecidos pelas redes neurais artificiais aderem melhor aos dados experimentais do que os resultados fornecidos pelas equações de regressão propostas.

Observou-se que os principais fatores que contribuem para o desempenho das redes neurais correspondem à topologia e o conjunto de treinamento das redes.

Entretanto, no geral todas as redes apresentaram um bom resultado em termos do coeficiente de determinação (R^2) e do erro padrão da estimativa.

Com as respostas das RNAs foi ajustada uma outra equação de regressão. Ao analisar essa equação conclui-se que a adaptação de uma equação que melhor representa os resultados das redes neurais artificiais acrescenta erros nas estimativas das grandezas, de modo que a resposta da rede neural é superior em termos de aderência aos resultados experimentais do que as respostas da equação ajustada.

A extrapolação da tendência do limite de deposição apresentado pelas redes, foi executada a partir de duas equações ajustadas através das respostas fornecidas pelas redes. A extrapolação teve como objetivo avaliar o limite de deposição em tubos com diâmetros maiores do que os diâmetros dos experimentos utilizados e comparar os resultados com os resultados fornecidos pelas equações de regressão.

Por fim, ao analisar os resultados fornecidos pelas redes neurais e pelas equações, conclui-se que a equação de Ota (1999) é a que mais se aproxima do resultado fornecido pelas redes neurais, sendo a mais indicada para a determinação do limite de deposição tanto para interpolações quanto para extrapolações.

Como recomendações para trabalhos futuros ressalta-se a aplicação de outras arquiteturas de redes neurais e outras técnicas de aprendizagem de máquina (SVM – *Support Vector Machine*) para a comparação da capacidade de extrapolação e interpolação.

Uma variação ainda maior do número de neurônios e número de camadas escondidas na arquitetura da rede neural *perceptron* multicamadas pode resultar em um comportamento ainda melhor dos que os apresentados nesta dissertação. Ainda a respeito das redes neurais *perceptron* multicamadas, destaca-se a mesma análise com a utilização de outras funções de ativação.

Utilização de outras arquiteturas de redes neurais para a determinação do limite de deposição. Recomenda-se também a utilização de computação evolucionária para a caracterização do limite de deposição em tubos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ-HARNANDEZ, Enrique M. **The influence of cohesion on sediment movement in channels of circular cross-section**. 367 f, Tese (Doutorado) - Universidade de New Castle, New Castle, 1990.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). **Gravity Sanitary Sewer Design and Construction**. Estados Unidos da América, 2007.
- BARNARD, E.; WESSELS, L. F. A. Extrapolation and Interpolation in Neural Network Classifiers, **IEEE Control Systems**, 1992.
- BISHOP, C. M. Neural networks for pattern recognition. **Journal of the American Statistical Association**, v. 92, p. 482, 1995.
- BONAKDARI, H.; EBTEHAJ, Isa. Comparison of two data-driven approaches in estimation of sediment transport in sewer pipe. **E-PROCEEDINGS OF THE 36TH IAHR WORLD CONGRESS**, Netherlands. Netherlands, 2015.
- BRAGA, Antônio de P.; LUDERMIR, Teresa B.; CARVALHO, André C. P. de L. F. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Brasil, 2007.
- CARDOSO, António Heleno. **Hidraulica Fluvial**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.
- CHOW, Ven Te. **Open Channel Hydraulics**. Mcgraw-Hill, 1959.
- CYBENKO, G. Degree of approximation by superpositions of a sigmoidal function. **Mathematics of Control, Signals, and Systems**, p. 303–314, 1989.
- DOUKIM, Chelsia Amy; DARGHAM, Jamal Ahmed; CHEKIMA, Ali. Finding the number of hidden neurons for an MLP neural network using coarse to fine search technique. **10th International Conference on Information Sciences, Signal Processing and their Applications**, p. 606–609, 2010.
- EBTEHAJ, I.; BONAKDARI, H.; ZAJI, A. H. An expert system with radial basis function neural network based on decision trees for predicting sediment transport In

sewers. **Water Science and Technology**, v. 74, n. 1, 2016.

EBTEHAJ, Isa; BONAKDARI, Hossein. Evaluation of Sediment Transport in Sewer Using Artificial Neural Network. **Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics** Vol. 7, No.3, p. 382–392, 2013.

EBTEHAJ, Isa; BONAKDARI, Hossein. Bed Load Sediment Transport in Sewers at Limit of Deposition. **Scientia Iranica**, v. 23, p. 1–32, 2016.

EBTEHAJ, Isa; BONAKDARI, Hossein; SHARIFI, Ali. Design criteria for sediment transport in sewers based on self-cleansing concept. **Journal of Zhejiang University SCIENCE A**, v. 15, n. 11, p. 914–924, 2014.

FAUSETT, Laurene. **Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and applications**, 1994.

FENDRICH, Roberto et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4ª Ed ed. Curitiba, 1997.

FRENCH, R. H. **Open channel hydraulics**. Mcgraw-Hill, 1987.

GHANI, Ab. A.; AZAMATHULLA, H. Md. Gene-expression Programming for sediment transport in sewer pipe systems. **Journal of pipeline systems engineering and practice**, 2011.

GHANI, Ab. **Sediment Transport in Sewers**. Tese (Doutorado) - Universidade de New Castle, New Castle p. 362, 1993.

GRAF, Walter H.; ACAROGLU, Ertan R. Sediment transport in conveyance systems (part 1): a physical model for sediment transport in conveyance systems. **International Association of Scientific Hydrology. Bulletin**, v. 13, n. 2, p. 5–19, 1968.

GRAUPE, Daniel. **Principles of Artificial Neural Networks (3rd Edition)**, 1997.

HAYKIN, Simon. Redes neurais: princípios e prática. **Bookman**, p. 900, 2001.

HENDERSON, Francis Martin. **Open channel flow**. Macmillan ed. New York, 1966.

- HORNIK, Kurt. Approximation capabilities of multilayer feedforward networks. **Neural Networks**, v. 4, n. 2, p. 251–257, 1991.
- HORNIK, Kurt; STINCHCOMBE, Maxwell; WHITE, Halbert. Multilayer feedforward networks are universal approximators. **Neural Networks**, v. 2, n. 5, p. 359–366, 1989.
- JAIN, Ani K.; MAO, Jianchang. Artificial Neural Network: A Tutorial. **Communications**, v. 29, p. 31–44, 1996.
- KETABDAR, Milad; QIAN, Qin. A Literature Review on the Sediment Transport Process in Shallow-Grade Culverts and Storm Sewers. [s. l.], n. 2009, 2015.
- KUBAT, Miroslav. Neural networks: a comprehensive foundation by Simon Haykin, **The Knowledge Engineering Review**, 1999.
- LOVELESS, J. H. **Sediment transport in rigid boundary channels with particular reference to the condition of incipient deposition**. 1992. University of London, 1992.
- MARK, O.; APPELGREN, C.; LARSEN, T. Principles and approaches for numerical modelling of sediment transport in sewers. **Water Science and Technology**, v. 31, n. 7, p. 107–115, 1995.
- MARTINS, Emília dos Reis; BINOTI, Mayra Luiza Marques da Silva; Leite, Hélio Garcia; BINOTI, Daniel Henrique Breda; DUTRA, Gleyce Campos. Configuração de redes neurais artificiais para estimação da altura total de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 11, n. 2, p. 117–123, 2016.
- MAY, Richard W. P. **Sediment transport in pipes and sewers with deposited beds**. England. 1993.
- MAY, Richard W. P. et al. Development of design methodology for self-cleansing sewers. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 33, n. 9, p. 195–205, 1996.
- MAYERLE, R. **Sediment transport in rigid boundary channels**. Newcastle Upon Tyne, 1988.

- MAYERLE, R.; NALLURI, C.; NOVAK, P. Sediment transport in rigid bed conveyances | Transport de sédiments en conduites à parois rigides. **Journal of Hydraulic Research**, v. 29, n. 4, p. 475–495, 1991.
- MAYS, Larry W. **Hydraulic Design Handbook**. Michgam. 2004.
- MAYS, Larry W. **Stormwater Collection Systems Design Handbook**. 2001.
- NAGY, H. M.; WATANABE, K.; HIRANO, M. Prediction of sediment load concentration in rivers using artificial neural network model. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 128, n. 6, p. 588–595, 2002.
- NALLURI, C.; GHANI AB., A.; EL-ZAEMEY, A. K. S. Sediment transport over deposited beds in sewers. **Water Science and Technology**, v. 29, n. 1–2, p. 125–133, 1994.
- NOVAK, P.; NALLURI, C. Sediment transport in smooth fixed bed channels. **Journal of the hydraulics division**, [s. l.], 1975.
- OTA, Jose J. **Effect of Particle Size and Gradation on Sediment Transport in Storm Sewers**. 1999. University of Newcastle Upon Tyne, 1999.
- OTA, Jose J.; NALLURI, C.; PERRUSQUÍA, G. S. Graded sediment transport - the influence of particle size on sediment transport over deposited loose beds in sewers. **8th Int. Conf. Urban Storm Drain**, 1999.
- OTA, Jose J.; NALLURI, Chandra. Graded sediment transport at limit deposition in clean pipe channel. **28TH INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDRO-ENVIRONMENT ENGINEERING AND RESEARCH**. Australia. 1999.
- OTA, Jose J.; NALLURI, Chandra. Urban Storm Sewer Design: Approach in Consideration of Sediments. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 129, n. 4, p. 291–297, 2003.
- RAUDKIVI, Arved J. **Loose Boundary Hydraulics**. Great Britain. 1967.
- SAFARI, Mir-jafar-sadegh; AKSOY, Hafzullah; MOHAMMADI, Mirali. **Application of**

ANN for the analysis of sediment incipient deposition in rigid boundary channels. p. 18–20, 2013.

SANTA CLARA COUNTY. **Drainage Manual.**, 2007.

SARLE, Warren S. Stopped Training and Other Remedies for Overfitting. **Proceedings of the 27th Symposium on the Interface of Computing Science and Statistics**, p. 352–360, 1995.

SIETSMA, Jocelyn; DOW, Robert J. F. Creating artificial neural networks that generalize. **Neural Networks**, v. 4, n. 1, p. 67–79, 1991.

SILVA, Ivan Nunes; SPATTI, Danilo Hernane; FLAUSINO, Rogério Andrade; LIBONI, Luisa Helena Bartocci; ALVES, Silas Franco dos Reis, . **Artificial Neural Networks: A practical course**. Springer International Publishing, 2017.

SILVA, Ivan Nunes; SPATTI, Danilo Hernane; FLAUSINO, Rogério Andrade. **Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas: Fundamentos teóricos e aspectos práticos**. 2ª ed. São Paulo. 2015.

SVOZIL, Daniel; KVASNIEKA, Vladimír; POSPICHAL, Jirì. Introduction to multi-layer feed- forward neural network. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 39, p. 43–62, 1997.

TOMAZ, Plinio. **Curso de Manejo de águas pluviais**. Guarulhos - SP. 2010.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª Edição ed. Porto Alegre. 1993.

VANONI, V. A. Sedimentation Engineering. **American Society of Civil Engineer Manuals and Reports on Engineering Practice No. 54**, New York, 1975.

VONGVISESSOMJAI, Natchapon; TINGSANCHALI, Tawatchai; BABEL, Mukand S. Non-deposition design criteria for sewers with part-full flow. **Urban Water Journal**, v. 7, n. 1, p. 61–77, 2010.

WAN MOHTAR, Wan Hanna Melini et al. Influence of bed deposit in the prediction of

incipient sediment motion in sewers using artificial neural networks. **Urban Water Journal**, p. 1–7, 2018.

**APÊNDICE 1 – CONJUNTOS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DA
CAPACIDADE DE EXTRAPOLAÇÃO E INTERPOLAÇÃO DA EQUAÇÃO DE
MANNING**

TABELA 27 - CONJUNTO DE TREINAMENTO - EQUAÇÃO DE MANNING

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m ²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m ³ /s)
1	9,24	2,95	0,068	31,60925	1,995987	0,00055	17,28191
2	9,19	1,12	0,211	10,92	0,933781	0,00274	2,588086
3	5,47	3,96	0,25	29,502	2,059501	0,00089	5,69877
4	8,43	4,29	0,235	45,36675	2,517196	0,00444	23,80342
5	5,78	4,39	0,236	35,01025	2,244774	0,00745	21,95212
6	4,29	2,01	0,083	10,64295	1,211561	0,00847	13,41186
7	6,29	0,84	0,184	5,6364	0,690034	0,00756	2,079817
8	1,37	1,68	0,276	3,7128	0,724224	0,00513	0,777021
9	9,81	3,6	0,154	41,796	2,340222	0,00754	41,54043
10	8,22	0,92	0,131	7,9856	0,777022	0,00811	4,639833
11	4,54	1,45	0,205	7,63425	0,980976	0,00687	3,047403
12	3,78	1,43	0,331	6,42785	0,921215	0,0089	1,734497
13	7	0,16	0,308	1,1328	0,15396	0,00704	0,088646
14	3,71	1,12	0,318	4,7824	0,769568	0,00933	1,2199
15	5,43	3,12	0,261	21,8088	1,757848	0,00501	8,614519
16	5,24	2,78	0,175	18,4314	1,608848	0,00769	12,6812
17	2,14	0,7	0,081	1,743	0,470414	0,00781	1,150248
18	3,59	0,65	0,056	2,54475	0,504566	0,0059	2,21222
19	4,5	1,48	0,139	7,7552	0,993062	0,00223	2,622496
20	2,07	1,58	0,251	4,5188	0,806498	0,00072	0,418554
21	1,36	1,14	0,072	2,2002	0,562838	0,00897	1,972944
22	2,31	4,4	0,123	19,844	1,633426	0,00178	9,440618
23	8,06	1,21	0,135	10,48465	0,973899	0,00788	6,7737
24	7,35	3,86	0,18	35,8208	2,241431	0,00361	20,47858
25	8,56	3,16	0,286	32,0424	2,050586	0,00841	16,58348
26	1,81	4,62	0,11	19,0344	1,567826	0,00776	20,57197
27	5,24	4,89	0,23	37,57965	2,323407	0,00441	19,0339
28	9,42	1,73	0,197	17,79305	1,338991	0,00307	6,079556
29	8,86	2,43	0,325	24,48225	1,712807	0,00352	6,398009
30	7,04	0,53	0,326	3,87165	0,470711	0,00734	0,615691
31	2,21	0,66	0,322	1,6764	0,454826	0,00995	0,307136
32	5,3	2,43	0,299	15,83145	1,474937	0,00079	1,928318
33	6,53	4,43	0,249	38,74035	2,357074	0,00865	25,62837
34	4,27	4,89	0,013	32,83635	2,159665	0,00873	394,3146
35	5,13	1,88	0,24	11,4116	1,222609	0,00144	2,063043
36	2,48	4,48	0,214	21,1456	1,691975	0,00417	9,060181
37	1,46	2,17	0,245	5,52265	0,874907	0,0079	1,832749
38	9,2	4,21	0,078	47,59405	2,556916	0,00641	91,3478
39	3,69	2,84	0,299	14,5124	1,445396	0,00643	4,975439
40	3,55	2,58	0,261	12,4872	1,339964	0,00468	3,978105
41	9,75	0,29	0,056	2,86955	0,275959	0,00715	1,836575
42	4,61	1,3	0,05	6,838	0,909685	0,00217	5,981126
43	5,24	4,85	0,264	37,17525	2,311185	0,00783	21,78148
44	6,52	1,24	0,05	8,8536	0,952745	0,00156	6,771685
45	7,4	1,34	0,33	10,8138	1,040155	0,00104	1,084875
46	4,63	0,16	0,163	0,7536	0,15109	0,00838	0,12006
47	1,31	1,82	0,26	4,0404	0,751053	0,00249	0,640715
48	9,71	0,58	0,259	5,8	0,526941	0,00024	0,22633
49	3,93	4,19	0,298	25,24475	1,898226	0,00987	12,90264

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
50	7,22	3,33	0,309	29,58705	2,017376	0,00386	9,49791
51	4,25	3,3	0,017	19,47	1,674259	0,00376	99,02072
52	7,27	3,15	0,158	27,86175	1,946521	0,00976	27,15911
53	6,54	3,69	0,206	30,94065	2,091844	0,00608	19,15579
54	8,34	3,92	0,063	40,376	2,360426	0,00422	73,80729
55	5,81	1,46	0,288	9,5484	1,052205	0,00298	1,872319
56	5,12	1,34	0,306	7,7586	0,955925	0,00925	2,366366
57	9,68	3,74	0,028	43,197	2,394128	0,00303	151,9784
58	9,51	1	0,309	10,01	0,8522	0,00695	2,427518
59	5,14	2,8	0,021	18,312	1,606176	0,00649	96,34614
60	5,94	0,4	0,086	2,456	0,359357	0,00346	0,849087
61	4,77	4,28	0,185	29,5748	2,062346	0,0029	13,94837
62	8,48	0,29	0,015	2,50125	0,274006	0,00572	5,32031
63	3,96	3,89	0,105	22,97045	1,814655	0,00295	17,67749
64	8,32	1,8	0,086	16,596	1,344358	0,00588	18,0248
65	4,3	3,37	0,168	20,16945	1,704141	0,00636	13,65999
66	8,73	1,02	0,272	9,4248	0,85596	0,00816	2,821743
67	1,63	4,54	0,244	17,706	1,502833	0,00988	9,463452
68	2,9	4,19	0,133	20,92905	1,705831	0,00772	19,73924
69	8,67	3,43	0,329	35,62055	2,179998	0,0054	13,37639
70	7,51	3,56	0,212	33,0724	2,137785	0,00777	22,82004
71	5,17	2,77	0,264	18,15735	1,597809	0,00015	1,15127
72	7,37	1,46	0,144	11,826	1,112024	0,00448	5,900071
73	9,49	0,36	0,067	3,4812	0,338145	0,00141	0,946962
74	2,67	4,65	0,244	23,22675	1,777415	0,00206	6,339545
75	6,6	0,26	0,195	1,7498	0,243658	0,00179	0,148104
76	5,84	3,92	0,082	30,576	2,093474	0,00568	45,98887
77	5,3	3,32	0,07	23,1072	1,816069	0,00383	30,4091
78	2,53	1,46	0,107	4,7596	0,821377	0,0078	3,44558
79	9,92	2,84	0,285	32,2056	1,979394	0,00374	10,89458
80	5,08	2,4	0,296	15,072	1,442771	0,00579	4,947093
81	6,17	2,66	0,04	19,95	1,646319	0,00759	60,58241
82	6,67	0,95	0,071	6,78775	0,771838	0,00137	2,977456
83	9,11	1,58	0,245	15,642	1,237208	0,0084	6,743638
84	7,64	1,92	0,057	16,512	1,383697	0,00484	25,02504
85	7,06	2,21	0,134	18,04465	1,503507	0,00407	11,27486
86	3,66	1,59	0,129	7,08345	0,98172	0,0094	5,258688
87	2,07	1,32	0,162	3,6036	0,717618	0,00636	1,421933
88	7,18	4,98	0,213	48,1566	2,629264	0,00215	19,97032
89	7,52	1,14	0,333	9,2226	0,915929	0,00496	1,839605
90	5,64	4,07	0,287	31,23725	2,119102	0,00201	8,050512
91	5,12	1,02	0,247	5,7426	0,775944	0,00779	1,732742
92	8,02	0,58	0,104	4,8198	0,517317	0,00805	2,679568
93	6,5	4,69	0,216	41,48305	2,442024	0,00342	20,36713
94	3,92	2,14	0,311	10,6786	1,226694	0,00706	3,306083
95	6,47	0,24	0,126	1,5816	0,225728	0,00277	0,244919
96	3,68	0,97	0,296	4,04005	0,690727	0,00423	0,693643
97	8,83	0,51	0,03	4,63335	0,464711	0,00947	9,017179
98	4,94	4,38	0,113	31,2294	2,11955	0,00103	14,63523
99	4,62	0,57	0,079	2,79585	0,47431	0,00565	1,617904

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
100	3,72	3,71	0,102	20,68325	1,721336	0,00447	19,47225
101	8,82	2,23	0,122	22,15505	1,604691	0,00578	18,92363
102	8,32	2,85	0,295	27,77325	1,890263	0,00265	7,409277
103	4,86	1,87	0,154	10,83665	1,198553	0,00501	5,619935
104	9,51	1,83	0,279	19,07775	1,402569	0,00358	5,126417
105	1,55	2,69	0,12	7,78755	1,029415	0,00841	6,067522
106	7,12	4,77	0,086	45,33885	2,549125	0,00591	75,62985
107	1,21	1,62	0,243	3,2724	0,677175	0,00497	0,732103
108	5,98	3,06	0,143	22,9806	1,792227	0,00361	14,24648
109	6,9	1,05	0,138	7,79625	0,843032	0,0038	3,107858
110	6,76	3,24	0,118	27,1512	1,938698	0,00856	33,09919
111	7,44	2,64	0,018	23,1264	1,733195	0,00617	145,6162
112	9,19	2,07	0,069	21,16575	1,531679	0,0086	37,79888
113	8,22	1,91	0,181	17,52425	1,402962	0,00095	3,739843
114	9,27	3,11	0,273	33,66575	2,075037	0,00381	12,38336
115	8,33	2,14	0,22	20,116	1,533795	0,00452	8,175851
116	8,29	4,43	0,05	46,53715	2,557579	0,00135	63,95621
117	7,2	2,87	0,035	24,78245	1,819895	0,00914	100,9052
118	2,85	4,67	0,22	24,21395	1,821634	0,00886	15,45256
119	9,25	1,15	0,144	11,29875	0,955781	0,00817	6,881525
120	9,18	3,13	0,081	33,63185	2,078749	0,00678	55,68633
121	4,55	1,69	0,266	9,11755	1,094681	0,00462	2,474624
122	1,5	2,89	0,126	8,51105	1,068927	0,00224	3,342222
123	5,95	1,58	0,099	10,6492	1,122979	0,0044	7,708845
124	4,73	3,95	0,119	26,48475	1,952797	0,00211	15,97208
125	8,34	4,07	0,064	42,22625	2,421119	0,0037	72,36261
126	1,11	2,11	0,288	4,56815	0,783814	0,00713	1,138592
127	4,05	3,9	0,182	23,4	1,832324	0,00028	3,221502
128	7,12	1,17	0,054	9,01485	0,925911	0,0062	12,48744
129	3,07	3,68	0,19	18,0688	1,599189	0,00654	10,51714
130	8,79	1,07	0,216	9,97775	0,892257	0,00852	3,951774
131	8,04	0,65	0,149	5,43725	0,572737	0,0092	2,413926
132	2	1,97	0,136	5,88045	0,918095	0,00444	2,721583
133	1,98	3,73	0,121	14,34185	1,389642	0,00156	5,829762
134	2,38	2,07	0,249	7,06905	1,008616	0,00684	2,361423
135	5,15	3,8	0,172	26,79	1,96306	0,00167	9,979105
136	4,38	4,95	0,022	33,93225	2,19647	0,00592	200,5246
137	1,3	4,85	0,15	18,06625	1,487555	0,00917	15,02946
138	4,4	0,28	0,043	1,2712	0,25292	0,00998	1,181134
139	5,29	1,19	0,196	7,00315	0,880797	0,00757	2,856511
140	2,19	3,71	0,027	15,00695	1,431167	0,00072	18,94037
141	4,95	2,05	0,033	12,24875	1,284752	0,00733	37,55572
142	1,81	4,14	0,081	16,0632	1,451408	0,00786	22,53814
143	2,15	0,46	0,131	1,0948	0,344429	0,00689	0,340858
144	3,59	1,93	0,063	8,79115	1,112014	0,00175	6,265624
145	1,69	3,54	0,118	12,2484	1,27512	0,00161	4,897537
146	8,82	1,86	0,16	18,135	1,397248	0,00419	9,169667
147	1,24	4,48	0,091	15,5904	1,38488	0,00645	17,09505
148	5,78	3,98	0,199	30,9246	2,106645	0,00842	23,43336
149	5,49	4,73	0,138	37,15415	2,312508	0,00067	12,18675

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
150	4,81	1,68	0,118	9,492	1,108025	0,00848	7,931829
151	7,36	2,1	0,234	17,661	1,464945	0,0042	6,309161
152	4,96	2,75	0,136	17,42125	1,568184	0,00107	5,655838
153	4,4	2,54	0,082	14,4018	1,428805	0,00711	18,78681
154	3,44	2,05	0,059	9,15325	1,140743	0,00875	15,84355
155	9,68	4,01	0,073	46,85685	2,512885	0,00982	117,5676
156	4,53	4,99	0,267	35,05475	2,234497	0,00041	4,543747
157	9,49	1,84	0,191	19,1544	1,40796	0,00622	9,935519
158	2,52	4,37	0,014	20,56085	1,672754	0,00275	108,5261
159	9,32	4,79	0,246	56,11485	2,801433	0,00069	11,9075
160	3,76	2,29	0,106	11,23245	1,264831	0,00049	2,743395
161	2,13	0,54	0,084	1,296	0,388317	0,00432	0,539749
162	2,9	3,75	0,05	17,90625	1,586694	0,00678	40,11545
163	3,65	0,26	0,22	0,9828	0,232265	0,00535	0,123464
164	4,89	4,76	0,225	34,6052	2,227752	0,00063	6,584767
165	2,52	4,68	0,081	22,7448	1,751648	0,00598	31,55336
166	9,01	0,81	0,172	7,62615	0,704741	0,00555	2,61583
167	7,42	2,42	0,262	20,8846	1,627631	0,00533	8,052409
168	6,25	4,53	0,321	38,57295	2,354969	0,00627	16,84231
169	4,37	4,15	0,171	26,74675	1,959514	0,00543	18,04847
170	1,84	2,75	0,018	8,84125	1,106652	0,00237	25,58327
171	4,58	1,88	0,124	10,3776	1,181447	0,00353	5,556978
172	1,61	3,32	0,291	10,8564	1,201761	0,00654	3,410309
173	1,76	3,63	0,293	12,97725	1,313896	0,00263	2,724793
174	3,99	2,71	0,06	14,48495	1,441325	0,00343	18,04073
175	6,1	3,44	0,024	26,9008	1,950454	0,00079	49,18031
176	5,24	4,14	0,328	30,2634	2,087517	0,00344	8,839134
177	8,12	3,54	0,113	35,0106	2,183294	0,00631	41,42004
178	5,85	3,5	0,327	26,6	1,944979	0,00716	10,72508
179	2,74	0,73	0,024	2,26665	0,518408	0,00191	2,663612
180	6,06	3,38	0,163	26,195	1,92357	0,00043	5,154308
181	7,97	0,59	0,174	4,87635	0,524944	0,00168	0,747496
182	1,81	0,41	0,281	0,82615	0,302976	0,00288	0,071174
183	1,98	2,52	0,218	8,1648	1,072215	0,00254	1,977397
184	6,74	2,31	0,041	18,23745	1,531874	0,00697	49,34904
185	8,82	1,84	0,129	17,9216	1,38558	0,00867	16,07747
186	6,14	3,33	0,271	25,99065	1,913032	0,00656	11,97056
187	3,63	4,96	0,318	30,3056	2,058679	0,00488	10,7737
188	6,13	3,99	0,333	32,41875	2,153796	0,00615	12,73286
189	2,55	4,76	0,114	23,4668	1,778639	0,00519	21,76997
190	5,94	4,86	0,1	40,6782	2,420271	0,00746	63,33452
191	1,33	2,26	0,108	5,5596	0,870931	0,00493	3,296343
192	4,03	3,78	0,26	22,3776	1,792741	0,00819	11,4946
193	4,72	0,52	0,076	2,5896	0,440202	0,00183	0,843489
194	5,86	2,83	0,282	20,58825	1,689213	0,00801	9,26779
195	5,47	0,49	0,172	2,80035	0,426514	0,00117	0,315548
196	1,78	2,5	0,062	7,575	1,027792	0,00837	11,38388
197	2,52	2,28	0,149	8,3448	1,095372	0,00363	3,585563
198	2,41	2,59	0,114	9,59595	1,170036	0,0031	5,203913
199	2,92	2,42	0,201	9,9946	1,199647	0,00427	3,668475

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
200	4,2	3,23	0,088	18,78245	1,644338	0,00358	17,7912
201	9,49	1,04	0,059	10,4104	0,881079	0,00758	14,11865
202	9,09	2,57	0,063	26,66375	1,797149	0,00196	27,69692
203	7,33	3,14	0,02	27,946	1,947286	0,00187	94,22446
204	2,23	4,65	0,139	21,18075	1,677322	0,0076	18,7533
205	4,25	4,01	0,309	25,08255	1,897802	0,00396	7,829993
206	8,46	0,83	0,318	7,36625	0,714065	0,00247	0,919729
207	1	1,16	0,131	1,8328	0,509984	0,00599	0,691186
208	2,82	1,93	0,094	7,30505	1,023746	0,0036	4,736322
209	7,76	1,77	0,295	15,30165	1,305842	0,00491	4,342276
210	8,26	0,65	0,328	5,58025	0,574487	0,00727	1,002461
211	2,59	2,67	0,137	10,47975	1,224227	0,00182	3,73457
212	4,39	4,33	0,028	28,38315	2,01697	0,00432	106,3598
213	7,46	0,4	0,149	3,064	0,366752	0,00282	0,559511
214	6,14	3,88	0,237	31,3504	2,115991	0,00377	13,38673
215	1,88	1,53	0,13	4,04685	0,763386	0,00716	2,200188
216	6,26	4,39	0,135	37,11745	2,308825	0,00943	46,64025
217	3,4	2,5	0,326	11,625	1,293079	0,0091	4,037502
218	7,69	3,23	0,096	30,05515	2,015433	0,00437	33,0218
219	3,36	0,8	0,106	3,008	0,584208	0,00184	0,850666
220	7,62	2,21	0,021	19,28225	1,535002	0,00808	109,8289
221	3,18	4,27	0,213	22,69505	1,783079	0,00221	7,365373
222	6,22	0,89	0,225	5,93185	0,722506	0,00676	1,745322
223	1,53	2,98	0,328	8,9996	1,098385	0,00454	1,9681
224	1,04	1,8	0,085	3,492	0,689448	0,00768	2,809766
225	2,08	1,35	0,215	3,71925	0,729452	0,00538	1,028188
226	3,8	2,51	0,106	12,68805	1,347996	0,00515	10,48218
227	9,72	4,83	0,14	58,61205	2,856309	0,00215	39,07943
228	9,5	3,76	0,105	42,7888	2,389419	0,00796	64,98187
229	5,66	4,73	0,242	37,95825	2,33782	0,00343	16,18124
230	2,85	1,09	0,191	3,70055	0,699892	0,00361	0,917643
231	4,09	3,74	0,254	22,2904	1,789977	0,00191	5,654131
232	7,34	4,29	0,095	40,69065	2,403077	0,00141	28,8553
233	4,94	4,07	0,177	28,38825	2,02184	0,00173	10,66644
234	6,11	0,44	0,188	2,7852	0,392621	0,00547	0,5875
235	2,2	1,04	0,106	2,8288	0,625079	0,00337	1,132577
236	2,81	3,64	0,19	16,8532	1,539205	0,00801	10,58301
237	9,42	3,91	0,171	44,47625	2,448725	0,00535	34,56227
238	3,96	1,28	0,092	5,888	0,863069	0,00278	3,058905
239	6,43	0,69	0,255	4,67475	0,586331	0,00275	0,673462
240	4,98	2,53	0,269	15,79985	1,485332	0,00026	1,232924
241	4,06	1,58	0,288	7,663	1,009221	0,00396	1,684656
242	4,41	3,98	0,145	25,472	1,913814	0,00047	5,870527
243	6,88	3,35	0,043	28,65925	1,994266	0,00439	69,96551
244	7,16	0,96	0,31	7,3344	0,788084	0,00749	1,746997
245	7,1	3,31	0,267	28,97905	1,998364	0,00161	6,909325
246	1,07	3,13	0,207	8,24755	1,022141	0,00888	3,809796
247	7,79	0,17	0,313	1,33875	0,163859	0,0068	0,105614
248	4,78	0,73	0,222	3,75585	0,585723	0,00876	1,1085
249	9,65	0,9	0,09	9,09	0,779424	0,00316	4,808549

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
250	1,44	4,81	0,143	18,49445	1,5165	0,00712	14,40479
251	8,45	2,89	0,078	28,59655	1,917657	0,00742	48,74554
252	9,03	4,49	0,158	50,62475	2,654688	0,00593	47,30519
253	3,04	3,8	0,215	18,772	1,627105	0,00713	10,19907
254	9,89	3,04	0,31	34,6864	2,078568	0,00476	12,57314
255	8,7	2,8	0,329	28,28	1,890249	0,00646	10,56199
256	1,66	2,58	0,308	7,611	1,024491	0,00887	2,365148
257	6,4	4,59	0,273	39,91005	2,395051	0,00413	16,81787
258	9,14	0,98	0,325	9,4374	0,832858	0,00402	1,629781
259	8,02	4,65	0,213	48,10425	2,611847	0,0061	33,45291
260	2,57	4,37	0,154	20,77935	1,683681	0,0081	17,18675
261	9,05	2,65	0,281	27,49375	1,835906	0,00278	7,734821
262	7,35	3,37	0,296	30,44795	2,04547	0,00138	6,157457
263	8,99	1,16	0,086	11,1012	0,958335	0,00907	11,9496
264	8,63	2,1	0,306	20,328	1,525468	0,00421	5,711933
265	5,1	1,56	0,05	9,1728	1,068062	0,00646	15,4068
266	1,39	4,42	0,146	15,912	1,411462	0,0009	4,114078
267	9,09	0,95	0,283	9,08675	0,810285	0,0093	2,691259
268	7,28	2,82	0,036	24,5058	1,803792	0,0085	92,99655
269	4,92	0,2	0,092	1,004	0,187062	0,009	0,338629
270	7,96	1,4	0,165	12,124	1,093188	0,0066	6,334767
271	4,59	4	0,292	26,36	1,947648	0,00794	12,54526
272	5,85	2,94	0,244	21,5208	1,73219	0,00804	11,40671
273	5,59	4,58	0,113	36,0904	2,279702	0,00366	33,46873
274	6,04	2,98	0,142	22,4394	1,766398	0,00698	19,29195
275	6,17	3,91	0,115	31,76875	2,130269	0,00365	27,63153
276	8,18	4,49	0,183	46,80825	2,569066	0,0013	17,29922
277	1,84	0,64	0,304	1,3824	0,422612	0,00255	0,129318
278	3,31	2,02	0,277	8,7264	1,11493	0,00141	1,27193
279	6,62	1,75	0,017	13,11625	1,245239	0,00406	56,90174
280	6,31	3,32	0,205	26,4604	1,92667	0,007	16,72104
281	9,69	1,8	0,224	19,062	1,389873	0,00963	10,40041
282	2,44	0,87	0,112	2,50125	0,570361	0,00498	1,083895
283	9,95	1,13	0,247	11,88195	0,952327	0,00823	4,224235
284	6,2	0,22	0,21	1,3882	0,207444	0,00893	0,218907
285	9,22	3,22	0,145	34,8726	2,12377	0,00966	39,05499
286	4,96	0,64	0,046	3,3792	0,528737	0,00725	4,08995
287	1,76	2,49	0,028	7,48245	1,021103	0,0082	24,538
288	4,71	2,17	0,332	12,57515	1,31508	0,00883	4,272253
289	8,51	3,66	0,079	37,8444	2,266945	0,00445	55,14615
290	8,65	1,54	0,223	14,5068	1,199549	0,00458	4,970249
291	3,38	3,05	0,144	14,96025	1,46669	0,0091	12,7935
292	6,76	4,29	0,286	38,20245	2,336151	0,00675	19,32166
293	4,08	3,97	0,015	24,07805	1,858277	0,00061	59,92416
294	1,57	1,14	0,317	2,4396	0,592263	0,00115	0,184057
295	5,81	0,83	0,038	5,16675	0,673988	0,00947	10,17131
296	5,93	1,32	0,173	8,6988	0,979417	0,00409	3,171417
297	8,24	0,79	0,054	6,82165	0,681722	0,0076	8,530493
298	1,55	1,43	0,109	3,23895	0,682232	0,00772	2,023366
299	3,28	1,49	0,184	5,99725	0,907061	0,00422	1,984029

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
300	2,36	2,29	0,033	8,02645	1,072969	0,00547	18,85362
301	8,79	4,38	0,186	48,0924	2,587842	0,00834	44,50803
302	5,52	2,18	0,112	14,4098	1,386274	0,00068	4,171194
303	4,84	4,53	0,037	32,18565	2,150098	0,00637	115,6562
304	6,94	4,42	0,169	40,443	2,40397	0,004	27,1606
305	8,26	0,42	0,327	3,5574	0,38671	0,00226	0,274513
306	1,26	3,38	0,241	9,971	1,130767	0,00449	3,009033
307	9,28	0,4	0,131	3,792	0,372699	0,00134	0,548767
308	9,19	4,56	0,166	52,3032	2,697923	0,00871	56,98785
309	8,4	1,22	0,291	10,9922	0,987796	0,00668	3,062138
310	8,35	1,49	0,247	13,55155	1,160062	0,00202	2,722421
311	7,85	4,37	0,104	43,85295	2,488588	0,00104	24,97186
312	2,6	1,21	0,315	3,87805	0,730929	0,00963	0,980316
313	6,46	0,91	0,087	6,29265	0,740763	0,0081	5,329376
314	2,35	0,54	0,075	1,4148	0,397698	0,00136	0,376217
315	6,71	4,06	0,068	35,4844	2,247493	0,00713	75,60298
316	6,16	2,86	0,211	21,7074	1,728963	0,00551	11,00082
317	6,23	0,81	0,207	5,37435	0,66835	0,00386	1,233063
318	3,12	1,66	0,232	6,557	0,959766	0,00342	1,608202
319	4,65	0,4	0,294	1,94	0,349901	0,00195	0,144689
320	9,55	2,81	0,327	30,78355	1,944222	0,00212	6,752057
321	6,94	1,28	0,018	9,7024	0,989822	0,0083	48,77348
322	1,03	1,82	0,287	3,5308	0,692362	0,00462	0,654437
323	5,79	2,1	0,329	14,364	1,36986	0,00745	4,648096
324	1,24	0,46	0,037	0,6762	0,29807	0,00989	0,810994
325	7,05	2,92	0,111	24,8492	1,82993	0,00361	20,12331
326	1,66	0,66	0,202	1,3134	0,41884	0,00885	0,342412
327	8,85	0,22	0,324	1,9712	0,211006	0,00532	0,157279
328	7,05	3,17	0,058	27,37295	1,93608	0,00696	61,16183
329	4,75	0,77	0,049	3,95395	0,610953	0,00258	2,951098
330	5,88	0,3	0,012	1,809	0,276149	0,0004	1,278545
331	3,4	4,98	0,117	29,3322	2,017953	0,00172	16,6034
332	6,88	4,25	0,282	38,27125	2,335993	0,00988	23,74924
333	9,09	3,92	0,242	43,316	2,425935	0,00212	14,87945
334	9,72	4,78	0,087	57,8858	2,836371	0,00771	117,0636
335	3,21	4,14	0,3	21,8592	1,75332	0,00394	6,650207
336	8,38	4,16	0,087	43,5136	2,460892	0,00186	39,31793
337	4,06	0,96	0,189	4,3584	0,702217	0,00283	0,969184
338	2,38	2,22	0,057	7,7478	1,054973	0,00325	8,030445
339	9,38	1,69	0,205	17,28025	1,313193	0,00402	6,409069
340	9,07	3,2	0,171	34,144	2,104353	0,00317	18,46121
341	1,3	0,97	0,041	1,73145	0,499123	0,00692	2,210467
342	5,36	4,53	0,161	34,54125	2,229995	0,00861	33,97944
343	5,69	0,49	0,23	2,90815	0,428572	0,00004	0,045457
344	1,44	1,55	0,127	3,43325	0,69982	0,00996	2,126615
345	3,8	4,97	0,163	31,23645	2,094542	0,00611	24,5219
346	3,51	1,22	0,084	5,0264	0,805771	0,00067	1,341187
347	5,04	0,35	0,156	1,82525	0,313476	0,00234	0,261181
348	6,46	0,17	0,268	1,11265	0,162665	0,00805	0,110999
349	2,2	3,52	0,196	13,9392	1,384099	0,00959	8,649727

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
350	8,48	3,01	0,221	30,05485	1,975919	0,00347	12,6144
351	1,64	3,14	0,075	10,0794	1,163735	0,00916	14,23062
352	8,08	4,79	0,109	50,17525	2,670208	0,00864	82,35373
353	5,62	3,46	0,023	25,431	1,903975	0,00657	137,6763
354	9,25	3,42	0,189	37,4832	2,218288	0,00887	31,76986
355	4,55	1,66	0,102	8,9308	1,080966	0,00123	3,234327
356	7,88	0,32	0,239	2,5728	0,299318	0,00951	0,469736
357	9,35	4,27	0,233	49,04095	2,595032	0,00631	31,57278
358	7,38	1,86	0,034	15,4566	1,339499	0,00122	19,29494
359	9,3	4,37	0,058	50,18945	2,631631	0,00253	82,96495
360	9,3	4,32	0,03	49,5072	2,611165	0,00181	133,13
361	7,88	1,66	0,068	14,4586	1,247305	0,00507	17,54297
362	4,19	2,51	0,193	13,66695	1,394227	0,00561	6,61939
363	2,56	4,29	0,206	20,18445	1,660898	0,00218	6,416132
364	2,18	1,75	0,125	5,34625	0,877424	0,00112	1,311862
365	5,3	2,55	0,116	16,76625	1,523931	0,00211	8,79217
366	5,29	3,67	0,021	26,14875	1,937465	0,0034	112,8393
367	6,88	0,13	0,091	0,90285	0,125908	0,00112	0,08341
368	5,17	3,14	0,2	21,1636	1,735966	0,00061	3,775014
369	1,59	1,79	0,28	4,44815	0,795369	0,00082	0,390518
370	4,54	2,29	0,04	13,01865	1,347603	0,00302	21,82148
371	8,72	1,25	0,206	11,68125	1,01443	0,00664	4,665028
372	7,21	1,26	0,078	9,8784	0,985136	0,00292	6,775598
373	8,54	3,85	0,075	40,29025	2,349442	0,00734	81,33856
374	8,86	4,23	0,254	46,42425	2,534273	0,0061	26,53455
375	7,13	0,39	0,216	2,85675	0,357002	0,00994	0,663578
376	5,77	2,79	0,109	19,99035	1,664665	0,00701	21,56772
377	7,29	2,41	0,13	20,47295	1,614723	0,00883	20,36805
378	8,37	3,48	0,213	35,1828	2,178297	0,0097	27,33682
379	1,19	3,97	0,282	12,60475	1,252062	0,0098	5,140225
380	8,94	4	0,27	43,76	2,446843	0,00191	12,86178
381	9,66	3,41	0,034	38,75465	2,242098	0,00526	141,6144
382	4,45	0,34	0,298	1,5708	0,301482	0,00051	0,053522
383	4,76	1,13	0,06	6,01725	0,825779	0,00749	7,639476
384	4,67	0,46	0,057	2,254	0,395536	0,00961	2,088807
385	6,51	3,66	0,111	30,5244	2,077336	0,0058	34,09647
386	9,44	3,22	0,253	35,581	2,138263	0,00417	15,07323
387	8,91	2,38	0,236	24,038	1,689029	0,00672	11,84211
388	6,28	4,13	0,33	34,46485	2,221395	0,0099	17,69147
389	9,51	3,99	0,055	45,90495	2,490515	0,00683	126,736
390	4,89	4,35	0,318	30,73275	2,10255	0,00393	9,943397
391	8,7	1,4	0,038	13,16	1,112379	0,00323	21,13046
392	1,25	0,32	0,236	0,4512	0,229555	0,00714	0,060566
393	6,37	0,84	0,15	5,7036	0,691488	0,00748	2,571571
394	5,06	3,33	0,011	22,39425	1,790665	0,0051	214,3903
395	5,98	0,93	0,218	5,99385	0,743696	0,00885	2,123169
396	8,89	4,5	0,198	50,13	2,645061	0,00336	28,06893
397	2,19	0,24	0,177	0,5544	0,203326	0,00564	0,081336
398	3,49	3,52	0,251	18,48	1,626623	0,00683	8,415823
399	5,64	3,88	0,159	29,4104	2,054381	0,00558	22,32929

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
400	1,33	3,09	0,023	8,88375	1,078197	0,00647	32,66776
401	6,31	1,63	0,164	11,61375	1,166649	0,0044	5,205733
402	1,71	3,92	0,31	14,3864	1,373353	0,00117	1,961273
403	8,34	0,22	0,219	1,859	0,210486	0,00946	0,292144
404	1,94	4,71	0,194	20,22945	1,622005	0,00308	7,989001
405	8	3,93	0,101	39,16245	2,3328	0,00901	64,73848
406	8,24	0,53	0,056	4,50765	0,478259	0,00889	4,641468
407	7,91	2,53	0,061	23,21275	1,71094	0,00356	32,47967
408	8,29	1,3	0,274	11,622	1,037967	0,00319	2,455923
409	5,44	1,04	0,13	6,1984	0,798196	0,00383	2,539074
410	7,28	0,34	0,326	2,533	0,315039	0,00947	0,350082
411	5,56	3,52	0,107	25,7664	1,918433	0,00368	22,55407
412	5,14	4,21	0,156	30,50145	2,095766	0,00914	30,61241
413	8,32	4,97	0,071	53,70085	2,763348	0,00719	126,2925
414	5,37	3,77	0,166	27,35135	1,981985	0,00641	20,81453
415	5,42	4,89	0,036	38,45985	2,351656	0,00575	143,2589
416	9,95	4,58	0,089	56,0592	2,776419	0,00007	10,41028
417	5,86	2,37	0,116	16,69665	1,496185	0,00064	4,763413
418	4,45	0,93	0,061	4,57095	0,700041	0,00562	4,42888
419	4,39	3,8	0,316	23,902	1,854729	0,00678	9,4019
420	5,91	3,91	0,014	30,75215	2,098689	0,0003	62,36489
421	9,06	1,35	0,043	13,14225	1,088052	0,008	28,91875
422	1,49	4,15	0,283	14,79475	1,373741	0,00997	6,450677
423	1,94	1,58	0,203	4,3134	0,788125	0,00478	1,253433
424	2,06	2,64	0,333	8,9232	1,120552	0,00356	1,724869
425	8,56	2,58	0,289	25,413	1,773529	0,00506	9,164855
426	8,33	1,06	0,305	9,3916	0,877701	0,00851	2,603967
427	1,78	0,27	0,185	0,51705	0,216907	0,00802	0,090357
428	8,49	4,51	0,245	48,45995	2,608927	0,00485	26,10532
429	3,22	3,59	0,311	18,00385	1,6007	0,00371	4,825014
430	5,06	1,91	0,054	11,48865	1,231249	0,00359	14,64378
431	8,15	0,95	0,24	8,19375	0,797502	0,00167	1,199824
432	3,67	4,95	0,232	30,41775	2,063824	0,002	9,504645
433	7,51	2,24	0,083	19,3312	1,544175	0,0096	30,48695
434	1,72	2,42	0,299	7,0906	0,994295	0,00356	1,409549
435	3,58	3,56	0,112	19,0816	1,653461	0,00344	13,97243
436	7,41	0,61	0,154	4,70615	0,536374	0,00803	1,807791
437	5,37	1,3	0,248	7,826	0,945524	0,00964	2,984754
438	3,24	3,62	0,127	18,281	1,612854	0,00757	17,22427
439	7,36	1,33	0,075	10,67325	1,032831	0,00429	9,523949
440	2,47	0,74	0,127	2,1016	0,509517	0,00065	0,269138
441	6,55	0,33	0,201	2,21595	0,304059	0,00615	0,390937
442	7,25	4,06	0,034	37,6768	2,307435	0,00877	181,2096
443	6,06	1,23	0,061	8,21025	0,931885	0,00089	3,830863
444	9,87	1,8	0,325	19,386	1,395186	0,00138	2,766724
445	7,82	4,31	0,113	42,99225	2,462687	0,0009	20,81481
446	8,41	0,97	0,029	8,62815	0,815593	0,00733	22,23587
447	7,32	3,16	0,24	28,124	1,95496	0,00366	11,08404
448	3,92	4,32	0,218	26,2656	1,934165	0,00457	12,644
449	1,41	3,88	0,215	12,998	1,288724	0,0064	5,727539

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
450	5,21	4,19	0,328	30,60795	2,099437	0,00495	10,76461
451	7,47	1,71	0,067	14,23575	1,260506	0,00011	2,600351
452	9,81	0,75	0,046	7,63875	0,664988	0,00027	2,078845
453	3,75	4,51	0,286	27,08255	1,957586	0,0013	5,342884
454	5,29	3,6	0,012	25,524	1,913366	0,0099	326,1748
455	3,12	1,91	0,126	7,78325	1,053087	0,00597	4,940305
456	9	3,78	0,152	41,1642	2,358664	0,00837	43,90186
457	9,12	3,33	0,147	35,91405	2,167923	0,00686	33,89522
458	6,3	2,51	0,266	18,96305	1,591857	0,00042	1,991838
459	5,34	3,57	0,193	25,43625	1,909232	0,00964	19,91469
460	4,83	3,68	0,304	24,5456	1,879631	0,00517	8,842203
461	1,74	2,68	0,111	8,2544	1,067472	0,00532	5,665297
462	5,12	4,27	0,069	30,97885	2,112001	0,00131	26,74943
463	8,46	2,45	0,245	23,72825	1,702369	0,00856	12,77534
464	4,13	2,83	0,173	15,69235	1,500501	0,00339	6,922016
465	4,09	1,48	0,173	7,1484	0,966081	0,00659	3,278041
466	7,51	1,82	0,266	15,3244	1,323391	0,00694	5,78505
467	8,57	3,8	0,237	39,786	2,331157	0,00899	27,98398
468	1,06	3,94	0,326	11,9382	1,209531	0,00448	2,78252
469	8,64	1,27	0,085	11,77925	1,026084	0,004	8,916288
470	1,7	1,82	0,313	4,7502	0,823309	0,00519	0,960417
471	1,14	1,52	0,015	2,888	0,636288	0,00693	11,85701
472	3,95	3,24	0,049	18,0468	1,612061	0,00293	27,40894
473	5,04	0,81	0,265	4,41045	0,643747	0,00718	1,05142
474	9,78	1,66	0,133	17,6126	1,305423	0,00905	15,04747
475	9,28	1,36	0,156	13,5456	1,099387	0,0073	7,902576
476	2,87	0,41	0,054	1,26075	0,332934	0,00291	0,604998
477	9,78	1,69	0,111	17,95625	1,324309	0,00123	6,841818
478	9,16	3,94	0,314	43,8522	2,440286	0,00124	8,913872
479	3,92	2,52	0,043	13,0536	1,366169	0,00612	29,23977
480	7,45	0,99	0,156	7,86555	0,813927	0,00821	3,982596
481	8,74	3,92	0,06	41,944	2,396062	0,00629	99,27564
482	2,74	0,65	0,223	1,99225	0,475087	0,00419	0,352096
483	7,69	3,94	0,196	38,0604	2,306676	0,00184	14,54177
484	2,61	2,67	0,304	10,53315	1,227597	0,00591	3,053858
485	9,09	2,2	0,024	22,418	1,600217	0,00545	94,34158
486	7,62	0,79	0,233	6,33185	0,67457	0,00497	1,473571
487	1,58	4,19	0,155	15,39825	1,406345	0,00815	11,25762
488	9,58	4,81	0,121	57,64785	2,83484	0,00107	31,21586
489	7,66	4,19	0,012	40,87345	2,400208	0,00217	284,4391
490	8,64	0,28	0,212	2,4584	0,265311	0,00474	0,329642
491	9,35	3,58	0,101	39,8812	2,29795	0,00135	25,26431
492	8,72	0,25	0,053	2,21125	0,238306	0,00917	1,535691
493	2,98	0,59	0,059	1,93225	0,449436	0,00905	1,828019
494	6,54	3,01	0,06	24,21545	1,824749	0,00624	47,6068
495	3,77	1,61	0,277	7,36575	0,999414	0,00584	2,031299
496	8,64	3,35	0,091	34,55525	2,142187	0,00363	38,01873
497	6,28	0,16	0,182	1,0176	0,153304	0,00623	0,126411
498	6,33	4,05	0,049	33,83775	2,199245	0,00719	99,02669
499	10	3,72	0,059	44,1192	2,408493	0,00279	70,96998

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m ²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m ³ /s)
500	7,33	2,38	0,143	20,2776	1,602739	0,00597	15,00524

TABELA 28 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DO COEFICIENTE DE MANNING

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
1	5,46	3,05	0,526	21,30425	1,734873	0,0032	3,308013
2	5,92	1,81	0,59	12,35325	1,23938	0,0047	1,656206
3	3,7	0,95	0,603	3,96625	0,680987	0,0063	0,404103
4	6,41	0,37	0,549	2,44015	0,337161	0,0066	0,174921
5	7,04	1,65	0,354	12,97725	1,209491	0,0089	3,925933
6	1,61	1,61	0,41	3,88815	0,746276	0,0005	0,174466
7	2,6	2,82	0,38	11,3082	1,269769	0,0013	1,258147
8	2,07	3,6	0,436	13,932	1,376701	0,0035	2,339488
9	7,17	2,95	0,481	25,50275	1,852536	0,0096	7,835895
10	3,04	4,82	0,523	26,269	1,901092	0,0024	3,776153
11	2,52	3,51	0,451	15,00525	1,447182	0,0015	1,648647
12	9,36	0,37	0,348	3,53165	0,34667	0,0039	0,312758
13	7,61	4,26	0,648	41,4924	2,421408	0,0084	10,58226
14	2,15	1,81	0,488	5,52955	0,892254	0,0019	0,457761
15	9,71	1,44	0,384	15,0192	1,161583	0,0025	2,160989
16	1,9	2,39	0,481	7,39705	1,021099	0,0084	1,429218
17	2,21	2,06	0,394	6,6744	0,979182	0,0018	0,708698
18	2,89	3,86	0,413	18,6052	1,614863	0,004	3,921674
19	9,05	2,06	0,439	20,7648	1,520529	0,0058	4,76329
20	3,84	4,33	0,354	26,00165	1,92289	0,0013	4,095173
21	9,56	2,76	0,577	30,1944	1,919353	0,0014	3,024019
22	8,87	4,61	0,471	51,51675	2,686204	0,0043	13,85972
23	1,76	3,47	0,368	12,12765	1,274026	0,0055	2,872295
24	8,28	1,15	0,463	10,18325	0,938421	0,0005	0,471399
25	4,86	1,26	0,57	6,9174	0,901003	0,0038	0,697874
26	8,42	0,76	0,579	6,688	0,660908	0,007	0,733265
27	3,05	1,51	0,55	5,74555	0,894045	0,0089	0,914612
28	6,63	3,8	0,42	32,414	2,142783	0,0078	11,32877
29	2,68	2,28	0,637	8,7096	1,11974	0,0067	1,206816
30	7,72	2,51	0,344	22,52725	1,689645	0,0094	9,006942
31	8,05	4,92	0,628	51,7092	2,714186	0,0065	12,91689
32	1,31	2,83	0,544	7,71175	1,009646	0,0017	0,588245
33	2,6	4,69	0,633	23,19205	1,772123	0,0064	4,292279
34	8,57	4,28	0,411	45,8388	2,526894	0,0032	11,70463
35	2,9	3,92	0,631	19,0512	1,633139	0,0091	3,994194
36	3,62	2,65	0,351	13,10425	1,372808	0,0034	2,68896
37	5,58	3,88	0,41	29,1776	2,046697	0,0045	7,695574
38	4,91	3,5	0,405	23,31	1,830211	0,0083	7,845616
39	7,78	4,73	0,447	47,98585	2,614092	0,0018	8,642828
40	7,69	3,56	0,472	33,7132	2,154143	0,0088	11,17589

TABELA 29 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DA DECLIVIDADE LONGITUDINAL

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
1	1,99	4,62	0,25	19,866	1,612417	0,0149	13,33773
2	3,89	1,53	0,301	7,12215	0,974145	0,0176	3,084726
3	2,23	2,96	0,312	10,9816	1,241032	0,0167	5,252806
4	8,03	1,87	0,019	16,76455	1,372855	0,0152	134,3724
5	8,44	2,55	0,197	24,77325	1,751753	0,0108	18,99083
6	9,74	1,62	0,296	17,091	1,279034	0,0192	9,427164
7	1,8	3,1	0,069	10,385	1,189329	0,01	16,89503
8	8,37	2,47	0,26	23,72435	1,707637	0,0143	15,58904
9	6,1	2,52	0,011	18,5472	1,580517	0,0139	269,7279
10	7,95	1,67	0,263	14,67095	1,255619	0,0101	6,52482
11	4,86	2,45	0,283	14,90825	1,442031	0,01	6,723933
12	1,25	4,11	0,164	13,58355	1,301076	0,0189	13,5707
13	8,5	3,52	0,255	36,1152	2,206053	0,0142	28,60035
14	9,46	3,03	0,074	33,25425	2,04827	0,0172	95,05416
15	5,96	4,58	0,016	37,785	2,332236	0,0188	569,4558
16	7,27	3,97	0,105	36,74235	2,275464	0,0154	75,12503
17	2,93	2,46	0,129	10,2336	1,213845	0,0168	11,70044
18	3,11	3,12	0,185	14,5704	1,44454	0,0115	10,79282
19	1,23	1,48	0,203	2,9156	0,64229	0,0175	1,414399
20	9,17	4,71	0,035	54,28275	2,755207	0,0184	413,4651
21	5,95	3,4	0,117	26,01	1,919185	0,0145	41,34119
22	9,91	3,39	0,036	39,34095	2,249305	0,0136	218,7815
23	1,06	4,44	0,011	14,5632	1,325356	0,0169	207,6646
24	8,22	3,09	0,195	30,17385	1,994379	0,0112	25,94638
25	1,26	0,62	0,126	0,9734	0,367826	0,0115	0,425302
26	6,15	3,15	0,22	24,33375	1,844358	0,0101	16,71773
27	1,02	3,81	0,071	11,14425	1,168232	0,0128	19,69776
28	4,71	3,23	0,237	20,42975	1,71211	0,0107	12,76128
29	2,3	1,49	0,261	4,53705	0,805621	0,0151	1,849448
30	5,26	0,23	0,203	1,23625	0,214095	0,014	0,257877
31	4,59	4,36	0,076	29,5172	2,058489	0,0119	68,55946
32	1,12	1,51	0,255	2,83125	0,629662	0,0137	0,954706
33	6,07	4,04	0,136	32,6836	2,163944	0,0197	56,43149
34	1,56	0,64	0,241	1,2032	0,402262	0,0119	0,296779
35	6,53	0,74	0,178	5,106	0,623848	0,0126	2,350887
36	9,97	1,52	0,113	16,3096	1,219973	0,0173	21,67478
37	8,25	1,73	0,041	15,76895	1,301241	0,0154	56,88761
38	7,03	0,29	0,208	2,08075	0,270985	0,0121	0,460801
39	1,61	4,82	0,048	19,3764	1,564146	0,0177	72,36635
40	2,84	3,12	0,02	13,728	1,398457	0,0139	101,2008

TABELA 30 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DA ÁREA E RAIOS HIDRÁULICO

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
1	12,74	6,26	0,165	99,3462	3,715573	0,007	120,8464
2	10,75	5,31	0,256	71,18055	3,146307	0,0034	34,81194
3	12,44	6,91	0,02	109,8345	3,937957	0,0081	1232,532
4	10,77	7,09	0,043	101,4934	3,81214	0,0004	115,198
5	11,23	5,66	0,022	79,5796	3,331622	0,006	625,017
6	13,32	5,79	0,015	93,88485	3,574274	0,0059	1123,886
7	12,21	6,95	0,188	109,0108	3,92822	0,0018	61,24608
8	10,44	6,72	0,026	92,736	3,641507	0,0038	520,4204
9	12,69	6,44	0,299	102,4604	3,782183	0,0096	81,50462
10	11,57	7,01	0,252	105,6758	3,878744	0,0056	77,46929
11	11,36	5,17	0,172	72,09565	3,14547	0,0047	61,69073
12	11,33	6,44	0,072	93,702	3,641702	0,0064	246,4389
13	11,13	6,39	0,172	91,53675	3,60119	0,0024	61,25431
14	12,89	5,8	0,241	91,582	3,541564	0,002	39,48555
15	11,02	5,46	0,186	75,075	3,231961	0,002	39,45858
16	10,85	6,38	0,292	89,5752	3,566443	0,0009	21,48241
17	12,21	5,8	0,049	87,638	3,480572	0,0017	169,3641
18	12,97	6,39	0,036	103,2944	3,78944	0,0029	375,569
19	13,3	5,09	0,238	80,65105	3,267661	0,0068	61,53358
20	13,28	6,27	0,231	102,9221	3,770018	0,0095	105,1931
21	11,66	6,1	0,027	89,731	3,546678	0,0088	725,0499
22	10,72	5,33	0,117	71,34205	3,151395	0,0054	96,31454
23	10,57	5,86	0,302	79,11	3,341731	0,0006	14,34215
24	10,44	5,38	0,195	70,6394	3,143714	0,0005	17,38305
25	11,12	7,14	0,145	104,8866	3,872423	0,005	126,1321
26	11,87	5,37	0,202	78,16035	3,273364	0,0074	73,38047
27	11,38	6,46	0,293	94,3806	3,654622	0,006	59,19963
28	10,77	5,53	0,033	74,84855	3,235231	0,0084	454,722
29	13,32	5,23	0,018	83,34005	3,331652	0,0064	826,249
30	10,83	5,13	0,135	68,71635	3,081309	0,0085	99,3709
31	12,26	6,85	0,071	107,4423	3,896073	0,0077	328,7861
32	10,54	5,61	0,19	74,86545	3,243127	0,0052	62,2547
33	11,58	6,54	0,247	97,119	3,706283	0,004	59,55656
34	12,82	6,4	0,289	102,528	3,779021	0,0017	35,48858
35	12,03	5,08	0,018	74,0156	3,164517	0,0029	477,2963
36	11,67	6,72	0,022	101,0016	3,783345	0,006	863,4393
37	12,04	5,54	0,066	82,0474	3,358769	0,004	176,3347
38	12,49	5,11	0,128	76,87995	3,214541	0,0005	29,2528
39	11,33	5,41	0,151	75,92935	3,241087	0,0022	51,65406
40	11,7	6,97	0,205	105,8395	3,878978	0,0033	73,21986

TABELA 31 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DA VAZÃO

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
1	9,77	4,12	0,017	48,7396	2,567593	0,0068	443,3074
2	9,5	4,45	0,014	52,17625	2,682514	0,0065	580,0911
3	9,51	4,41	0,018	51,66315	2,667028	0,0056	413,0672
4	9,58	4,37	0,018	51,41305	2,656783	0,0078	483,8962
5	9,55	4,14	0,014	48,1068	2,557876	0,0057	485,2165
6	9,77	4,4	0,012	52,668	2,685951	0,0055	628,9444
7	9,7	4,18	0,015	49,2822	2,587432	0,005	437,8544
8	9,65	4,09	0,013	47,83255	2,544891	0,0064	548,6765
9	9,78	4,05	0,015	47,81025	2,538228	0,0056	443,8241
10	9,66	4,39	0,012	52,04345	2,672137	0,0057	630,5141
11	9,71	4,27	0,012	50,57815	2,626343	0,0055	595,0188
12	9,79	4,31	0,013	51,48295	2,65001	0,0078	669,7804
13	9,64	4,4	0,018	52,096	2,674511	0,0075	482,9388
14	9,56	4,38	0,012	51,465	2,659143	0,0073	703,3206
15	9,61	4,47	0,012	52,94715	2,700665	0,0053	622,9404
16	9,72	4,03	0,013	47,29205	2,524753	0,0079	599,5209
17	9,78	4,37	0,017	52,28705	2,674308	0,0058	451,3016
18	9,73	4,36	0,013	51,9276	2,66579	0,0074	660,6245
19	9,65	4,34	0,012	51,2988	2,65048	0,0057	618,1298
20	9,58	4,07	0,012	47,27305	2,530569	0,0079	650,2166
21	9,56	4,16	0,016	48,4224	2,567187	0,0076	494,6578
22	9,62	4,3	0,012	50,611	2,631181	0,0075	696,137
23	9,58	4,48	0,015	52,9536	2,702047	0,007	572,992
24	9,67	4,37	0,016	51,80635	2,664714	0,0077	546,1041
25	9,75	4,28	0,017	50,8892	2,633966	0,0072	484,4509
26	9,5	4,15	0,012	48,03625	2,557884	0,008	669,6585
27	9,66	4,42	0,018	52,4654	2,684556	0,0057	425,0626
28	9,59	4,28	0,012	50,2044	2,620221	0,0055	589,7036
29	9,54	4,32	0,014	50,544	2,632526	0,0077	603,9978
30	9,59	4,08	0,013	47,4504	2,53567	0,0054	498,7565
31	9,64	4,17	0,013	48,89325	2,578159	0,0064	565,7206
32	9,5	4,33	0,016	50,50945	2,633145	0,0069	500,0273
33	9,79	4,3	0,018	51,342	2,6458	0,007	456,5139
34	9,52	4,48	0,013	52,6848	2,696587	0,0078	693,4241
35	9,66	4,38	0,018	51,903	2,667989	0,0066	450,6243
36	9,72	4,05	0,015	47,56725	2,533397	0,0072	500,0559
37	9,7	4,47	0,012	53,34945	2,708751	0,0069	717,6058
38	9,71	4,44	0,018	52,9692	2,697261	0,0063	452,5882
39	9,55	4,27	0,017	49,89495	2,612573	0,0079	494,8424
40	9,68	4,33	0,018	51,28885	2,64892	0,0076	475,5576

TABELA 32 - CONJUNTO DE SIMULAÇÃO - EXTRAPOLAÇÃO DE TODOS OS DADOS DE ENTRADA

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m ²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m ³ /s)
1	13,03	5,97	0,352	95,60955	3,624412	0,0189	88,10784
2	13,73	5,53	0,583	91,21735	3,495526	0,0142	42,94324
3	11,2	6,12	0,4	87,2712	3,507017	0,0112	53,29812
4	11,38	5,3	0,432	74,359	3,20083	0,0115	40,09041
5	12,04	6,9	0,483	106,881	3,890987	0,0193	76,05104
6	11,04	6,46	0,588	92,1842	3,617195	0,0161	46,87486
7	10,83	5,12	0,453	68,5568	3,07724	0,0164	41,00295
8	12,97	5,21	0,455	81,14575	3,29594	0,0102	39,89091
9	11,91	6,92	0,643	106,3604	3,884093	0,0194	56,92848
10	10,55	5,66	0,586	75,7308	3,263394	0,0162	36,18918
11	11,91	5,82	0,469	86,2524	3,460628	0,0159	53,05588
12	12,67	5,07	0,647	77,08935	3,211138	0,0162	33,00808
13	13,79	5,63	0,649	93,48615	3,543953	0,0189	46,03188
14	11,22	6,28	0,514	90,1808	3,569749	0,0125	45,81747
15	10,23	5,51	0,41	71,54735	3,172728	0,0135	43,77893
16	10,5	5,9	0,398	79,355	3,34933	0,0169	58,02384
17	12,27	5,76	0,362	87,264	3,469776	0,0177	73,50453
18	13	5,78	0,628	91,8442	3,542761	0,0147	41,20772
19	10,38	5,08	0,405	65,6336	3,019132	0,0125	37,84841
20	10,16	6,72	0,466	90,8544	3,607283	0,0104	46,766
21	12,66	5,69	0,493	88,22345	3,475659	0,0171	53,69411
22	12,98	6,94	0,589	114,163	4,005957	0,0105	50,09667
23	10,1	6,93	0,46	94,00545	3,672669	0,0155	60,56414
24	13,96	6,62	0,447	114,3274	3,97484	0,0142	76,47745
25	11,13	6,47	0,489	92,94155	3,630904	0,0132	51,58592
26	11,41	5,57	0,559	79,06615	3,313073	0,0181	42,2901
27	12,39	6,5	0,539	101,66	3,775751	0,0173	60,15245
28	12,42	6,05	0,508	93,44225	3,601106	0,0153	53,45429
29	13,05	5,81	0,513	92,69855	3,55964	0,0169	54,76498
30	12,99	6,28	0,422	101,2964	3,747207	0,0171	75,72711
31	10,85	6,37	0,383	89,40295	3,562757	0,0127	61,36382
32	11,53	6,87	0,519	102,8096	3,823084	0,0163	61,8352
33	13,11	6,95	0,647	115,2658	4,023143	0,0163	57,53518
34	13,33	6,38	0,391	105,3976	3,819291	0,013	75,09554
35	13,25	5,41	0,549	86,31655	3,405378	0,0183	48,142
36	10,99	5,37	0,485	73,43475	3,193137	0,0196	45,9656
37	10,09	6,9	0,398	93,426	3,661056	0,0141	66,21125
38	13,09	5,1	0,507	79,764	3,256478	0,0104	35,24908
39	13,68	5,27	0,569	85,98005	3,376523	0,0108	35,34357
40	12,2	5,56	0,487	83,2888	3,381251	0,0165	49,49005

TABELA 33 – CONJUNTO DE SIMULAÇÃO – INTERPOLÇÃO / EXTRAPOLAÇÃO

Ponto	B (m)	Y (m)	n	A (m²)	Rh (m)	S (m/m)	Q (m³/s)
1	5	0,75	0,02	4,03125	0,603747	0,0077	12,63451
2	5	1,5	0,02	8,625	1,032427	0,0077	38,65574
3	5	2,25	0,02	13,78125	1,373845	0,0077	74,72441
4	5	3	0,02	19,5	1,665499	0,0077	120,2116
5	5	3,75	0,02	25,78125	1,926093	0,0077	175,1073
6	5	4,5	0,02	32,625	2,166003	0,0077	239,6286
7	5	5,25	0,02	40,03125	2,391445	0,0077	314,0905
8	5	6	0,02	48	2,606371	0,0077	398,8542
9	5	6,75	0,02	56,53125	2,813416	0,0077	494,303
10	5	7,5	0,02	65,625	3,014399	0,0077	600,8303
11	3,7	0,75	0,015	3,05625	0,568388	0,0088	13,11501
12	3,7	1,5	0,015	6,675	0,946258	0,0088	40,23534
13	3,7	2,25	0,015	10,85625	1,243392	0,0088	78,50586
14	3,7	3	0,015	15,6	1,498818	0,0088	127,7734
15	3,7	3,75	0,015	20,90625	1,729897	0,0088	188,4111
16	3,7	4,5	0,015	26,775	1,945532	0,0088	260,9587
17	3,7	5,25	0,015	33,20625	2,150753	0,0088	346,0166
18	3,7	6	0,015	40,2	2,348624	0,0088	444,2067
19	3,7	6,75	0,015	47,75625	2,54111	0,0088	556,1551
20	3,7	7,5	0,015	55,875	2,729536	0,0088	682,4857
21	8,3	0,75	0,03	6,50625	0,652122	0,0065	13,14877
22	8,3	1,5	0,03	13,575	1,164826	0,0065	40,38771
23	8,3	2,25	0,03	21,20625	1,590729	0,0065	77,65989
24	8,3	3	0,03	29,4	1,958929	0,0065	123,6978
25	8,3	3,75	0,03	38,15625	2,286825	0,0065	177,9876
26	8,3	4,5	0,03	47,475	2,58546	0,0065	240,3397
27	8,3	5,25	0,03	57,35625	2,86218	0,0065	310,7283
28	8,3	6	0,03	67,8	3,122063	0,0065	389,218
29	8,3	6,75	0,03	78,80625	3,36873	0,0065	475,9269
30	8,3	7,5	0,03	90,375	3,604833	0,0065	571,0058
31	2,1	0,75	0,012	1,85625	0,491455	0,009	9,139004
32	2,1	1,5	0,012	4,275	0,783814	0,009	28,73104
33	2,1	2,25	0,012	7,25625	1,017542	0,009	58,03463
34	2,1	3	0,012	10,8	1,22613	0,009	97,81107
35	2,1	3,75	0,012	14,90625	1,421639	0,009	148,9937
36	2,1	4,5	0,012	19,575	1,609481	0,009	212,5359
37	2,1	5,25	0,012	24,80625	1,792442	0,009	289,3774
38	2,1	6	0,012	30,6	1,972106	0,009	380,436
39	2,1	6,75	0,012	36,95625	2,149437	0,009	486,6062
40	2,1	7,5	0,012	43,875	2,325056	0,009	608,76

**ANEXO 1 – CONJUNTOS UTILIZADOS PARA O TREINAMENTO DAS RNA
NA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NO
FUNDO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS**

TABELA 34 – DADOS EXPERIMENTAIS UTILIZADOS

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
OTA - NEWCASTLE	0,334	305	0,71	1,00	0,56	0,002	20,44	0,06	0,12	26,21	0,04	1,19
	0,413	305	0,71	1,00	0,63	0,002	17,47	0,07	0,13	28,07	0,04	1,17
	0,489	305	0,71	1,00	0,68	0,002	20,18	0,08	0,14	29,00	0,04	1,11
	0,620	305	0,71	1,00	0,74	0,002	16,17	0,09	0,15	30,07	0,04	1,04
	0,180	305	1,18	1,00	0,39	0,002	5,39	0,03	0,04	31,86	0,03	1,10
	0,213	305	1,18	1,00	0,44	0,002	10,06	0,04	0,04	34,67	0,03	1,13
	0,233	305	1,18	1,00	0,47	0,002	8,39	0,04	0,05	36,45	0,03	1,14
	0,289	305	1,18	1,00	0,52	0,002	16,07	0,05	0,06	40,48	0,03	1,18
	0,334	305	1,18	1,00	0,56	0,002	25,16	0,06	0,07	43,42	0,04	1,19
	0,489	305	1,18	1,00	0,68	0,002	24,90	0,08	0,09	48,05	0,04	1,11
	0,620	305	1,18	1,00	0,74	0,002	20,67	0,09	0,09	49,83	0,04	1,04
	0,233	305	2,00	1,00	0,47	0,002	15,72	0,04	0,03	61,71	0,03	1,14
	0,289	305	2,00	1,00	0,52	0,002	27,95	0,05	0,04	68,87	0,03	1,18
	0,334	305	2,00	1,00	0,56	0,002	28,83	0,06	0,04	73,52	0,04	1,19
	0,413	305	2,00	1,00	0,63	0,002	29,70	0,07	0,05	78,74	0,04	1,17
	0,489	305	2,00	1,00	0,68	0,002	31,97	0,08	0,05	81,36	0,04	1,11
	0,620	305	2,00	1,00	0,74	0,002	26,95	0,09	0,05	84,36	0,04	1,04
	0,213	305	2,81	1,00	0,44	0,002	6,29	0,04	0,02	82,80	0,03	1,13
	0,233	305	2,81	1,00	0,47	0,002	12,58	0,04	0,02	86,64	0,03	1,14
	0,289	305	2,81	1,00	0,52	0,002	26,56	0,05	0,03	96,69	0,03	1,18
	0,334	305	2,81	1,00	0,56	0,002	31,45	0,06	0,03	103,21	0,04	1,19
	0,489	305	2,81	1,00	0,68	0,002	35,38	0,08	0,04	114,21	0,04	1,11
	0,620	305	2,81	1,00	0,74	0,002	29,65	0,09	0,04	118,44	0,04	1,04
	0,213	305	4,09	1,00	0,44	0,002	5,03	0,04	0,01	120,53	0,03	1,13
	0,233	305	4,09	1,00	0,47	0,002	17,82	0,04	0,01	126,11	0,03	1,14
	0,289	305	4,09	1,00	0,52	0,002	36,34	0,05	0,02	140,73	0,03	1,18
	0,334	305	4,09	1,00	0,56	0,002	43,50	0,06	0,02	150,23	0,04	1,19
	0,413	305	4,09	1,00	0,63	0,002	45,42	0,07	0,02	160,91	0,04	1,17
	0,489	305	4,09	1,00	0,68	0,002	43,24	0,08	0,02	166,24	0,04	1,11
	0,620	305	4,09	1,00	0,74	0,002	41,33	0,09	0,03	172,39	0,04	1,04
	0,233	305	5,61	1,00	0,47	0,002	4,19	0,04	0,01	172,91	0,03	1,14
	0,289	305	5,61	1,00	0,52	0,002	45,42	0,05	0,01	192,96	0,03	1,18
	0,334	305	5,61	1,00	0,56	0,002	57,65	0,06	0,01	205,98	0,04	1,19
	0,413	305	5,61	1,00	0,63	0,002	59,40	0,07	0,02	220,62	0,04	1,17
	0,489	305	5,61	1,00	0,68	0,002	57,65	0,08	0,02	227,94	0,04	1,11
	0,620	305	5,61	1,00	0,74	0,002	52,11	0,09	0,02	236,37	0,04	1,04
OTA - CHALMERS	0,338	225	1,41	0,70	0,51	0,002	33,54	0,04	0,0435	44,43	0,03	1,20
	0,498	225	1,41	0,70	0,63	0,002	52,83	0,06	0,05	49,13	0,03	1,10
	0,662	225	1,41	0,70	0,71	0,002	45,60	0,07	0,06	51,20	0,04	1,03
	0,804	225	1,41	0,70	0,76	0,002	45,96	0,07	0,06	51,78	0,04	1,00
	0,338	225	2,82	0,70	0,51	0,002	37,74	0,04	0,02	88,85	0,03	1,20

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,418	225	2,82	0,70	0,57	0,002	65,69	0,05	0,02	95,03	0,03	1,16
	0,498	225	2,82	0,70	0,63	0,002	63,90	0,06	0,03	98,26	0,03	1,10
	0,662	225	2,82	0,70	0,71	0,002	56,60	0,07	0,03	102,41	0,04	1,03
	0,804	225	2,82	0,70	0,76	0,002	55,64	0,07	0,03	103,55	0,04	1,00
	0,338	225	4,73	0,70	0,51	0,002	26,21	0,04	0,01	149,03	0,03	1,20
	0,418	225	4,73	0,70	0,57	0,002	69,88	0,05	0,01	159,39	0,03	1,16
	0,498	225	4,73	0,70	0,63	0,002	77,99	0,06	0,02	164,81	0,03	1,10
	0,662	225	4,73	0,70	0,71	0,002	64,47	0,07	0,02	171,77	0,04	1,03
AB GHANI - SMOOTH RIGID BED 154mm	0,159	154	0,93	0,35	0,24	0,0018	52,00	0,02	0,02	15,63	0,02	1,09
	0,293	154	0,93	0,35	0,49	0,0031	249,00	0,03	0,06	28,49	0,03	1,18
	0,433	154	0,93	0,35	0,75	0,0048	426,00	0,04	0,13	40,42	0,04	1,15
	0,228	154	0,93	0,35	0,38	0,0027	147,00	0,02	0,04	23,16	0,02	1,14
	0,486	154	0,93	0,35	0,72	0,0033	151,00	0,04	0,09	34,11	0,04	1,11
	0,248	154	2,00	0,35	0,36	0,0026	200,00	0,02	0,02	51,84	0,03	1,16
	0,153	154	2,00	0,35	0,25	0,0026	113,00	0,01	0,01	39,98	0,02	1,08
	0,332	154	2,00	0,35	0,50	0,0027	186,00	0,03	0,03	60,10	0,03	1,19
	0,413	154	2,00	0,35	0,61	0,0035	309,00	0,03	0,04	73,18	0,04	1,17
	0,459	154	2,00	0,35	0,45	0,0018	167,00	0,04	0,02	54,34	0,03	1,13
	0,356	154	2,00	0,35	0,41	0,0022	167,00	0,03	0,02	55,38	0,03	1,19
	0,483	154	4,20	0,35	0,53	0,0022	164,00	0,04	0,01	126,11	0,03	1,11
	0,400	154	4,20	0,35	0,74	0,0046	268,00	0,03	0,03	175,02	0,04	1,17
	0,483	154	4,20	0,35	0,78	0,0046	205,00	0,04	0,03	181,92	0,04	1,11
	0,307	154	4,20	0,35	0,46	0,0037	285,00	0,03	0,02	143,68	0,03	1,19
	0,235	154	4,20	0,35	0,40	0,0025	163,00	0,02	0,01	102,64	0,02	1,14
	0,316	154	4,20	0,35	0,40	0,0022	212,00	0,03	0,01	111,74	0,03	1,19
	0,398	154	4,20	0,35	0,68	0,0048	1014,00	0,03	0,03	178,99	0,04	1,18
	0,288	154	4,20	0,35	0,50	0,0033	822,00	0,03	0,01	130,35	0,03	1,18
	0,280	154	4,20	0,35	0,56	0,0049	1260,00	0,02	0,02	157,96	0,04	1,18
	0,207	154	4,20	0,35	0,44	0,0050	1450,00	0,02	0,02	136,33	0,03	1,12
	0,418	154	5,70	0,35	0,74	0,0049	1237,00	0,03	0,02	247,82	0,04	1,16
	0,243	154	5,70	0,35	0,38	0,0032	734,00	0,02	0,01	160,07	0,03	1,15
	0,287	154	5,70	0,35	0,48	0,0036	1221,00	0,03	0,01	185,59	0,03	1,18
	0,478	154	5,70	0,35	0,74	0,0049	1258,00	0,04	0,02	255,22	0,04	1,12
	0,364	154	5,70	0,35	0,60	0,0043	1382,00	0,03	0,02	224,01	0,04	1,19
	0,519	154	0,93	0,35	0,82	0,0048	296,00	0,04	0,13	41,69	0,04	1,09
	0,757	154	0,93	0,35	0,52	0,0012	38,00	0,05	0,04	21,49	0,02	1,01
	0,628	154	0,93	0,35	0,65	0,0023	82,00	0,04	0,07	29,69	0,03	1,04
	0,647	154	2,00	0,35	0,63	0,0024	115,00	0,04	0,03	66,10	0,03	1,03
	0,520	154	2,00	0,35	0,73	0,0035	291,00	0,04	0,05	77,04	0,04	1,09
	0,558	154	2,00	0,35	0,62	0,0027	155,00	0,04	0,04	67,94	0,03	1,07
	0,603	154	2,00	0,35	0,62	0,0022	121,00	0,04	0,03	61,60	0,03	1,05
	0,680	154	4,20	0,35	0,60	0,0021	138,00	0,05	0,01	128,63	0,03	1,02

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,529	154	4,20	0,35	0,76	0,0042	373,00	0,04	0,03	177,28	0,04	1,08
	0,537	154	4,20	0,35	0,75	0,0038	168,00	0,04	0,02	169,25	0,04	1,08
	0,582	154	5,70	0,35	0,86	0,0053	1415,00	0,04	0,03	273,81	0,05	1,06
	0,738	154	5,70	0,35	0,66	0,0023	369,00	0,05	0,01	186,19	0,03	1,01
	0,556	154	5,70	0,35	0,63	0,0032	989,00	0,04	0,02	212,31	0,04	1,07
AB GHANI - SMOOTH RIGID BED 305mm	0,211	305	0,46	0,35	0,72	0,0034	197,00	0,04	0,20	17,60	0,04	1,12
	0,292	305	0,46	0,35	1,15	0,0053	730,00	0,05	0,42	25,87	0,06	1,18
	0,357	305	0,46	0,35	0,67	0,0015	79,00	0,06	0,14	15,04	0,03	1,19
	0,405	305	0,46	0,35	0,59	0,0011	27,00	0,07	0,11	13,16	0,03	1,17
	0,445	305	0,46	0,35	0,89	0,0023	168,00	0,07	0,24	19,58	0,04	1,14
	0,498	305	0,46	0,35	0,49	0,0006	8,00	0,08	0,07	10,40	0,02	1,10
	0,210	305	0,97	0,35	0,72	0,0035	222,00	0,04	0,09	37,44	0,04	1,12
	0,230	305	0,97	0,35	0,75	0,0033	232,00	0,04	0,10	38,09	0,04	1,14
	0,244	305	0,97	0,35	0,58	0,0020	80,00	0,04	0,06	30,60	0,03	1,15
	0,293	305	0,97	0,35	1,17	0,0053	734,00	0,05	0,20	54,51	0,06	1,18
	0,340	305	0,97	0,35	1,14	0,0044	388,00	0,06	0,19	53,15	0,05	1,20
	0,341	305	0,97	0,35	0,93	0,0031	183,00	0,06	0,13	44,31	0,05	1,19
	0,358	305	0,97	0,35	0,67	0,0015	88,00	0,06	0,07	31,43	0,03	1,19
	0,404	305	0,97	0,35	0,59	0,0011	38,00	0,07	0,05	27,74	0,03	1,17
	0,455	305	0,97	0,35	0,69	0,0012	27,00	0,07	0,06	30,22	0,03	1,13
	0,497	305	0,97	0,35	0,49	0,0006	13,00	0,08	0,03	22,15	0,02	1,10
	0,265	305	2,00	0,35	0,87	0,0037	294,00	0,05	0,06	88,97	0,04	1,17
	0,295	305	2,00	0,35	1,08	0,0051	503,00	0,05	0,09	110,32	0,06	1,19
	0,342	305	2,00	0,35	0,94	0,0031	202,00	0,06	0,07	92,21	0,05	1,19
	0,342	305	2,00	0,35	0,40	0,0007	12,00	0,06	0,01	43,18	0,02	1,19
	0,344	305	2,00	0,35	0,76	0,0021	121,00	0,06	0,04	75,72	0,04	1,19
	0,360	305	2,00	0,35	0,65	0,0015	70,00	0,06	0,03	64,91	0,03	1,19
	0,428	305	2,00	0,35	0,59	0,0008	33,00	0,07	0,02	50,55	0,03	1,15
	0,512	305	2,00	0,35	0,51	0,0007	9,00	0,08	0,02	48,89	0,02	1,09
	0,232	305	4,20	0,35	0,74	0,0033	394,00	0,04	0,02	165,19	0,04	1,14
	0,265	305	4,20	0,35	0,87	0,0037	461,00	0,05	0,03	186,67	0,04	1,17
	0,274	305	4,20	0,35	0,89	0,0040	486,00	0,05	0,03	198,84	0,05	1,17
	0,296	305	4,20	0,35	1,08	0,0053	997,00	0,05	0,05	236,92	0,06	1,19
	0,330	305	4,20	0,35	0,55	0,0014	43,00	0,06	0,01	128,14	0,03	1,19
	0,340	305	4,20	0,35	0,40	0,0007	7,00	0,06	0,01	93,44	0,02	1,20
	0,342	305	4,20	0,35	0,94	0,0032	308,00	0,06	0,03	194,70	0,05	1,19
	0,349	305	4,20	0,35	1,12	0,0044	903,00	0,06	0,04	232,29	0,06	1,19
	0,388	305	4,20	0,35	0,44	0,0008	14,00	0,06	0,01	98,94	0,02	1,18
	0,459	305	4,20	0,35	0,68	0,0012	52,00	0,07	0,01	129,94	0,03	1,13
	0,509	305	4,20	0,35	0,52	0,0007	17,00	0,08	0,01	99,81	0,02	1,10
	0,234	305	5,70	0,35	0,73	0,0033	418,00	0,04	0,02	225,12	0,04	1,14
	0,244	305	5,70	0,35	0,59	0,0020	196,00	0,04	0,01	179,97	0,03	1,15

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,267	305	5,70	0,35	0,86	0,0037	566,00	0,05	0,02	254,99	0,04	1,17
	0,299	305	5,70	0,35	1,07	0,0049	1183,00	0,05	0,03	310,14	0,05	1,19
	0,343	305	5,70	0,35	0,92	0,0031	374,00	0,06	0,02	261,50	0,05	1,19
	0,347	305	5,70	0,35	0,75	0,0020	298,00	0,06	0,02	213,56	0,04	1,19
	0,349	305	5,70	0,35	1,12	0,0047	1190,00	0,06	0,03	322,88	0,06	1,19
	0,361	305	5,70	0,35	0,65	0,0014	93,00	0,06	0,01	181,02	0,03	1,19
	0,429	305	5,70	0,35	0,58	0,0008	44,00	0,07	0,01	144,71	0,03	1,15
	0,489	305	5,70	0,35	0,68	0,0011	57,00	0,08	0,01	170,17	0,03	1,11
	0,212	305	8,30	0,35	0,72	0,0034	647,00	0,04	0,01	317,99	0,04	1,12
	0,269	305	8,30	0,35	0,85	0,0037	755,00	0,05	0,02	373,74	0,05	1,17
	0,295	305	8,30	0,35	1,13	0,0051	1280,00	0,05	0,02	456,09	0,05	1,19
	0,362	305	8,30	0,35	0,65	0,0015	144,00	0,06	0,01	271,93	0,03	1,19
	0,406	305	8,30	0,35	1,21	0,0044	1128,00	0,07	0,02	478,11	0,06	1,17
	0,406	305	8,30	0,35	0,58	0,0011	63,00	0,07	0,01	238,17	0,03	1,17
	0,446	305	8,30	0,35	0,89	0,0023	316,00	0,07	0,01	355,87	0,04	1,14
	0,491	305	8,30	0,35	0,68	0,0011	68,00	0,08	0,01	245,08	0,03	1,11
	0,497	305	8,30	0,35	0,49	0,0006	0,76	0,08	0,00	188,22	0,02	1,10
	0,550	305	0,46	0,35	0,67	0,0011	19,00	0,08	0,12	14,03	0,03	1,07
	0,592	305	0,46	0,35	0,83	0,0016	43,00	0,08	0,19	17,09	0,04	1,05
	0,639	305	0,46	0,35	0,56	0,0008	6,00	0,09	0,09	12,15	0,03	1,04
	0,755	305	0,46	0,35	0,60	0,0008	5,40	0,09	0,10	12,73	0,03	1,01
	0,551	305	0,97	0,35	0,67	0,0010	25,00	0,08	0,05	28,49	0,03	1,07
	0,603	305	0,97	0,35	0,81	0,0016	50,00	0,08	0,09	36,46	0,04	1,05
	0,637	305	0,97	0,35	0,56	0,0008	13,00	0,09	0,04	25,63	0,03	1,04
	0,710	305	0,97	0,35	0,52	0,0006	5,70	0,09	0,04	23,16	0,02	1,02
	0,758	305	0,97	0,35	0,61	0,0008	10,00	0,09	0,05	26,18	0,03	1,01
	0,805	305	0,97	0,35	0,51	0,0006	3,50	0,09	0,04	23,11	0,02	1,00
	0,526	305	2,00	0,35	0,72	0,0013	53,00	0,08	0,03	65,63	0,03	1,09
	0,556	305	2,00	0,35	0,78	0,0014	51,00	0,08	0,04	69,26	0,03	1,07
	0,578	305	2,00	0,35	0,70	0,0010	36,00	0,08	0,03	59,23	0,03	1,06
	0,632	305	2,00	0,35	0,49	0,0006	4,00	0,09	0,02	47,85	0,02	1,04
	0,640	305	2,00	0,35	0,56	0,0008	13,00	0,09	0,02	52,73	0,03	1,04
	0,717	305	2,00	0,35	0,51	0,0006	7,00	0,09	0,02	47,40	0,02	1,01
	0,756	305	2,00	0,35	0,61	0,0008	14,00	0,09	0,02	54,77	0,03	1,01
	0,526	305	4,20	0,35	0,72	0,0013	80,00	0,08	0,02	137,56	0,03	1,09
	0,563	305	4,20	0,35	0,66	0,0012	66,00	0,08	0,01	133,11	0,03	1,07
	0,599	305	4,20	0,35	0,82	0,0016	75,00	0,08	0,02	155,82	0,04	1,05
	0,674	305	4,20	0,35	0,61	0,0008	37,00	0,09	0,01	112,43	0,03	1,03
	0,709	305	4,20	0,35	0,52	0,0006	8,80	0,09	0,01	99,99	0,02	1,02
	0,756	305	4,20	0,35	0,61	0,0008	17,00	0,09	0,01	112,60	0,03	1,01
	0,803	305	4,20	0,35	0,51	0,0006	8,00	0,09	0,01	100,31	0,02	1,00
	0,524	305	5,70	0,35	0,73	0,0013	99,00	0,08	0,01	189,66	0,03	1,09

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,554	305	5,70	0,35	0,78	0,0014	66,00	0,08	0,01	199,62	0,04	1,07
	0,578	305	5,70	0,35	0,70	0,0011	60,00	0,08	0,01	172,15	0,03	1,06
	0,637	305	5,70	0,35	0,56	0,0008	20,00	0,09	0,01	150,44	0,03	1,04
	0,676	305	5,70	0,35	0,61	0,0007	28,00	0,09	0,01	142,88	0,03	1,03
	0,756	305	5,70	0,35	0,61	0,0008	20,00	0,09	0,01	153,88	0,03	1,01
	0,526	305	8,30	0,35	0,73	0,0013	105,00	0,08	0,01	271,88	0,03	1,09
	0,556	305	8,30	0,35	0,76	0,0015	85,00	0,08	0,01	296,29	0,04	1,07
	0,580	305	8,30	0,35	0,70	0,0010	88,00	0,08	0,01	248,84	0,03	1,06
	0,674	305	8,30	0,35	0,61	0,0008	30,00	0,09	0,01	220,67	0,03	1,03
	0,758	305	8,30	0,35	0,60	0,0008	24,00	0,09	0,01	227,53	0,03	1,01
AB GHANI - SMOOTH RIGID BED 450mm	0,497	450	0,72	0,70	0,61	0,0007	5,00	0,11	0,07	20,63	0,03	1,10
	0,503	450	0,72	0,70	0,79	0,0012	13,00	0,11	0,12	27,22	0,04	1,10
	0,496	450	0,72	0,70	0,98	0,0020	22,00	0,11	0,21	35,49	0,05	1,10
	0,500	450	0,72	0,70	0,51	0,0005	4,00	0,11	0,05	17,31	0,02	1,10
	0,497	450	0,72	0,70	0,71	0,0010	7,00	0,11	0,10	24,81	0,03	1,10
	0,498	450	0,72	0,70	0,81	0,0012	8,00	0,11	0,12	27,39	0,04	1,10
	0,495	450	0,72	0,70	0,91	0,0016	11,00	0,11	0,17	31,78	0,04	1,10
	0,500	450	0,72	0,70	0,99	0,0020	18,00	0,11	0,21	35,36	0,05	1,10
	0,509	450	0,72	0,70	1,07	0,0020	20,00	0,11	0,21	35,57	0,05	1,10
	0,498	450	0,72	0,70	0,71	0,0010	5,00	0,11	0,10	24,85	0,03	1,10
	0,500	450	0,72	0,70	0,50	0,0005	2,00	0,11	0,05	17,88	0,02	1,10
	0,497	450	0,72	0,70	0,60	0,0007	5,00	0,11	0,07	21,20	0,03	1,10
	0,494	450	0,72	0,70	1,22	0,0031	38,00	0,11	0,32	43,77	0,06	1,11
	0,497	450	0,72	0,70	0,75	0,0011	13,00	0,11	0,11	25,80	0,04	1,10
	0,500	450	0,72	0,70	0,85	0,0013	19,00	0,11	0,14	28,81	0,04	1,10
	0,499	450	0,72	0,70	0,55	0,0006	3,00	0,11	0,06	19,00	0,03	1,10
	0,495	450	0,72	0,70	0,65	0,0008	5,00	0,11	0,09	22,69	0,03	1,10
	0,499	450	0,72	0,70	0,84	0,0012	14,00	0,11	0,13	27,89	0,04	1,10
	0,747	450	0,72	0,70	0,50	0,0004	2,00	0,14	0,05	16,95	0,02	1,01
	0,749	450	0,72	0,70	0,70	0,0008	7,00	0,14	0,09	22,89	0,03	1,01
	0,750	450	0,72	0,70	0,79	0,0010	12,00	0,14	0,12	26,90	0,04	1,01
	0,747	450	0,72	0,70	0,90	0,0011	18,00	0,14	0,13	27,55	0,04	1,01
	0,750	450	0,72	0,70	0,60	0,0005	4,00	0,14	0,06	18,62	0,03	1,01
	0,749	450	0,72	0,70	0,75	0,0008	7,00	0,14	0,10	23,98	0,03	1,01
	0,746	450	0,72	0,70	0,66	0,0007	5,00	0,14	0,08	21,57	0,03	1,01
	0,744	450	0,72	0,70	0,86	0,0011	14,00	0,14	0,13	27,76	0,04	1,01
	0,745	450	0,72	0,70	0,71	0,0008	7,00	0,14	0,09	23,22	0,03	1,01
AB GHANI - 305mm	0,238	305	0,97	0,50	0,82	0,0055	320,00	0,04	0,17	50,09	0,05	1,14
	0,486	305	0,97	0,50	0,52	0,0012	14,00	0,07	0,06	29,88	0,03	1,11
	0,390	305	0,97	0,50	0,61	0,0018	49,00	0,06	0,09	35,59	0,04	1,18
	0,346	305	0,97	0,50	0,70	0,0027	125,00	0,06	0,12	41,56	0,04	1,19
	0,270	305	0,97	0,50	0,84	0,0052	262,00	0,05	0,18	51,59	0,05	1,17

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,302	305	0,97	0,50	0,97	0,0052	379,00	0,05	0,20	54,84	0,06	1,19
	0,291	305	2,00	0,50	0,68	0,0032	161,00	0,05	0,06	87,48	0,04	1,18
	0,488	305	2,00	0,50	0,52	0,0011	13,00	0,08	0,03	60,76	0,03	1,11
	0,389	305	2,00	0,50	0,61	0,0018	61,00	0,06	0,04	72,73	0,04	1,18
	0,348	305	2,00	0,50	0,69	0,0027	129,00	0,06	0,06	85,91	0,04	1,19
	0,271	305	2,00	0,50	0,84	0,0052	318,00	0,05	0,09	106,88	0,05	1,17
	0,177	305	2,00	0,50	0,70	0,0055	318,00	0,03	0,06	88,93	0,04	1,10
	0,366	305	2,00	0,50	1,00	0,0045	235,00	0,06	0,10	113,66	0,06	1,19
	0,292	305	4,20	0,50	0,67	0,0033	252,00	0,05	0,03	186,04	0,04	1,18
	0,238	305	4,20	0,50	0,82	0,0056	437,00	0,04	0,04	217,41	0,05	1,14
	0,198	305	4,20	0,50	0,69	0,0052	562,00	0,04	0,03	190,60	0,05	1,11
	0,266	305	4,20	0,50	0,80	0,0049	419,00	0,05	0,04	215,88	0,05	1,17
	0,463	305	4,20	0,50	0,57	0,0015	37,00	0,07	0,02	143,59	0,03	1,13
	0,485	305	4,20	0,50	0,52	0,0012	15,00	0,07	0,01	130,48	0,03	1,11
	0,349	305	4,20	0,50	0,69	0,0028	207,00	0,06	0,03	183,19	0,04	1,19
	0,273	305	4,20	0,50	0,83	0,0052	542,00	0,05	0,04	224,58	0,05	1,17
	0,179	305	4,20	0,50	0,69	0,0055	586,00	0,03	0,03	186,80	0,04	1,10
	0,364	305	4,20	0,50	1,00	0,0046	313,00	0,06	0,05	239,11	0,06	1,19
	0,292	305	5,70	0,50	0,67	0,0033	254,00	0,05	0,02	250,58	0,04	1,18
	0,241	305	5,70	0,50	0,81	0,0056	662,00	0,04	0,03	296,86	0,05	1,15
	0,330	305	5,70	0,50	0,85	0,0043	366,00	0,06	0,03	305,20	0,05	1,19
	0,195	305	5,70	0,50	0,71	0,0052	617,00	0,04	0,02	257,50	0,05	1,11
	0,267	305	5,70	0,50	0,80	0,0049	537,00	0,05	0,03	293,62	0,05	1,17
	0,462	305	5,70	0,50	0,57	0,0015	31,00	0,07	0,01	194,80	0,03	1,13
	0,179	305	5,70	0,50	0,69	0,0055	745,00	0,03	0,02	254,49	0,04	1,10
	0,303	305	5,70	0,50	0,97	0,0053	443,00	0,05	0,04	324,28	0,06	1,19
	0,332	305	8,30	0,50	0,84	0,0043	516,00	0,06	0,02	445,66	0,05	1,19
	0,199	305	8,30	0,50	0,69	0,0052	867,00	0,04	0,02	379,16	0,05	1,12
	0,270	305	8,30	0,50	0,79	0,0049	705,00	0,05	0,02	429,64	0,05	1,17
	0,463	305	8,30	0,50	0,57	0,0014	30,00	0,07	0,01	282,69	0,03	1,13
	0,275	305	8,30	0,50	0,82	0,0052	765,00	0,05	0,02	445,08	0,05	1,17
	0,181	305	8,30	0,50	0,68	0,0055	923,00	0,03	0,01	371,64	0,04	1,10
	0,308	305	8,30	0,50	0,95	0,0054	837,00	0,05	0,02	480,52	0,06	1,19
	0,372	305	8,30	0,50	0,97	0,0046	583,00	0,06	0,02	477,63	0,06	1,19
	0,677	305	0,97	0,50	0,41	0,0007	1,00	0,09	0,04	24,17	0,02	1,03
	0,534	305	0,97	0,50	0,62	0,0014	29,00	0,08	0,08	33,55	0,03	1,08
	0,611	305	0,97	0,50	0,71	0,0016	30,00	0,09	0,09	35,82	0,04	1,04
	0,563	305	0,97	0,50	0,51	0,0010	9,00	0,08	0,06	28,51	0,03	1,07
	0,627	305	0,97	0,50	0,56	0,0011	16,00	0,09	0,06	30,41	0,03	1,04
	0,723	305	0,97	0,50	0,55	0,0010	11,00	0,09	0,06	28,86	0,03	1,01
	0,771	305	0,97	0,50	0,49	0,0008	5,00	0,09	0,05	25,81	0,03	1,01
	0,680	305	2,00	0,50	0,41	0,0007	2,00	0,09	0,02	49,84	0,02	1,02

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,535	305	2,00	0,50	0,61	0,0014	32,00	0,08	0,04	69,21	0,03	1,08
	0,611	305	2,00	0,50	0,71	0,0016	36,00	0,09	0,04	74,64	0,04	1,04
	0,561	305	2,00	0,50	0,52	0,0010	10,00	0,08	0,03	59,20	0,03	1,07
	0,628	305	2,00	0,50	0,56	0,0011	14,00	0,09	0,03	61,31	0,03	1,04
	0,724	305	2,00	0,50	0,55	0,0010	14,00	0,09	0,03	58,89	0,03	1,01
	0,772	305	2,00	0,50	0,49	0,0008	7,00	0,09	0,02	53,53	0,03	1,01
	0,530	305	2,00	0,50	0,74	0,0020	39,00	0,08	0,05	81,71	0,04	1,08
	0,535	305	4,20	0,50	0,61	0,0015	45,00	0,08	0,02	148,28	0,04	1,08
	0,619	305	4,20	0,50	0,69	0,0015	64,00	0,09	0,02	153,94	0,04	1,04
	0,564	305	4,20	0,50	0,51	0,0010	12,00	0,08	0,01	124,64	0,03	1,07
	0,539	305	4,20	0,50	0,72	0,0018	84,00	0,08	0,02	162,88	0,04	1,08
	0,628	305	4,20	0,50	0,56	0,0011	16,00	0,09	0,01	131,55	0,03	1,04
	0,526	305	4,20	0,50	0,74	0,0023	52,00	0,08	0,03	183,94	0,04	1,09
	0,619	305	5,70	0,50	0,69	0,0016	71,00	0,09	0,02	212,91	0,04	1,04
	0,541	305	5,70	0,50	0,71	0,0018	93,00	0,08	0,02	219,97	0,04	1,08
	0,600	305	5,70	0,50	0,64	0,0014	54,00	0,08	0,01	195,75	0,03	1,05
	0,628	305	5,70	0,50	0,56	0,0011	19,00	0,09	0,01	178,75	0,03	1,04
	0,524	305	5,70	0,50	0,75	0,0021	54,00	0,08	0,02	238,76	0,04	1,09
	0,516	305	5,70	0,50	0,81	0,0024	109,00	0,08	0,02	253,42	0,04	1,09
	0,612	305	8,30	0,50	0,70	0,0016	69,00	0,09	0,01	308,90	0,04	1,04
	0,540	305	8,30	0,50	0,71	0,0018	106,00	0,08	0,01	327,90	0,04	1,08
	0,593	305	8,30	0,50	0,65	0,0014	55,00	0,08	0,01	290,46	0,03	1,05
	0,526	305	8,30	0,50	0,74	0,0023	50,00	0,08	0,01	363,83	0,04	1,09
	0,518	305	8,30	0,50	0,81	0,0025	158,00	0,08	0,02	375,38	0,05	1,09
AB GHANI - 305mm	0,243	305	2,00	1,00	0,71	0,0056	145,00	0,04	0,08	104,80	0,05	1,15
	0,310	305	2,00	1,00	0,73	0,0043	109,00	0,05	0,08	104,33	0,05	1,19
	0,411	305	2,00	1,00	0,73	0,0033	70,00	0,07	0,08	99,97	0,05	1,17
	0,510	305	2,00	1,00	0,83	0,0030	57,00	0,08	0,08	99,70	0,05	1,10
	0,245	305	4,20	1,00	0,71	0,0056	246,00	0,04	0,04	220,42	0,05	1,15
	0,311	305	4,20	1,00	0,73	0,0043	190,00	0,05	0,04	219,44	0,05	1,19
	0,410	305	4,20	1,00	0,74	0,0033	76,00	0,07	0,04	210,21	0,05	1,17
	0,354	305	4,20	1,00	0,82	0,0047	215,00	0,06	0,05	241,07	0,06	1,19
	0,244	305	5,70	1,00	0,71	0,0056	278,00	0,04	0,03	299,16	0,05	1,15
	0,310	305	5,70	1,00	0,73	0,0044	201,00	0,05	0,03	299,22	0,05	1,19
	0,410	305	5,70	1,00	0,74	0,0033	138,00	0,07	0,03	285,59	0,05	1,17
	0,510	305	5,70	1,00	0,83	0,0029	119,00	0,08	0,03	281,70	0,05	1,10
	0,353	305	5,70	1,00	0,83	0,0048	199,00	0,06	0,04	327,71	0,06	1,19
	0,246	305	8,30	1,00	0,70	0,0056	323,00	0,04	0,02	437,45	0,05	1,15
	0,314	305	8,30	1,00	0,72	0,0044	267,00	0,05	0,02	437,07	0,05	1,19
	0,411	305	8,30	1,00	0,73	0,0033	200,00	0,07	0,02	419,08	0,05	1,17
	0,358	305	8,30	1,00	0,81	0,0047	403,00	0,06	0,02	477,52	0,06	1,19
	0,652	305	2,00	1,00	0,58	0,0015	9,00	0,09	0,04	73,37	0,04	1,03

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,764	305	2,00	1,00	0,57	0,0013	8,00	0,09	0,04	68,83	0,03	1,01
	0,549	305	2,00	1,00	0,68	0,0022	27,00	0,08	0,06	85,77	0,04	1,07
	0,713	305	2,00	1,00	0,61	0,0015	11,00	0,09	0,04	73,39	0,04	1,02
	0,548	305	4,20	1,00	0,68	0,0021	46,00	0,08	0,03	178,49	0,04	1,07
	0,606	305	4,20	1,00	0,67	0,0019	58,00	0,09	0,02	172,48	0,04	1,05
	0,666	305	4,20	1,00	0,67	0,0019	27,00	0,09	0,03	173,92	0,04	1,03
	0,711	305	4,20	1,00	0,61	0,0016	18,00	0,09	0,02	158,44	0,04	1,02
	0,652	305	5,70	1,00	0,58	0,0014	7,00	0,09	0,01	203,71	0,04	1,03
	0,548	305	5,70	1,00	0,68	0,0022	61,00	0,08	0,02	247,24	0,04	1,07
	0,666	305	5,70	1,00	0,67	0,0019	24,00	0,09	0,02	233,12	0,04	1,03
	0,611	305	8,30	1,00	0,66	0,0020	43,00	0,09	0,01	345,48	0,04	1,04
	0,666	305	8,30	1,00	0,67	0,0019	26,00	0,09	0,01	339,46	0,04	1,03
MAYERLE	0,184	152	0,50	0,35	0,43	0,0039	22,60	0,02	0,09	13,34	0,03	1,11
	0,309	152	0,50	0,35	0,50	0,0028	21,70	0,03	0,11	14,73	0,03	1,19
	0,414	152	0,50	0,35	0,58	0,0028	20,40	0,03	0,13	16,15	0,03	1,17
	0,250	152	0,50	0,35	0,59	0,0046	93,90	0,02	0,15	17,40	0,03	1,16
	0,237	152	0,50	0,35	0,60	0,0055	141,40	0,02	0,16	18,06	0,04	1,14
	0,336	152	0,50	0,35	0,61	0,0038	67,70	0,03	0,16	18,05	0,04	1,20
	0,546	152	0,50	0,35	0,66	0,0028	22,00	0,04	0,14	17,06	0,03	1,08
	0,316	152	0,50	0,35	0,68	0,0046	130,80	0,03	0,18	19,05	0,04	1,19
	0,487	152	0,50	0,35	0,75	0,0038	38,50	0,04	0,19	19,68	0,04	1,11
	0,414	152	0,50	0,35	0,85	0,0055	102,10	0,04	0,28	23,74	0,05	1,17
	0,724	152	0,50	0,35	1,10	0,0054	107,90	0,05	0,30	24,54	0,05	1,01
	0,737	152	0,50	0,35	1,10	0,0052	104,10	0,05	0,29	24,43	0,05	1,01
	0,211	152	1,05	0,35	0,38	0,0027	35,60	0,02	0,03	24,96	0,02	1,12
	0,191	152	1,05	0,35	0,42	0,0039	78,10	0,02	0,04	28,84	0,03	1,11
	0,303	152	1,05	0,35	0,44	0,0021	48,20	0,03	0,04	26,43	0,03	1,19
	0,309	152	1,05	0,35	0,49	0,0027	65,80	0,03	0,05	30,33	0,03	1,19
	0,375	152	1,05	0,35	0,50	0,0022	61,60	0,03	0,05	29,56	0,03	1,18
	0,421	152	1,05	0,35	0,57	0,0028	95,30	0,03	0,06	34,48	0,03	1,16
	0,257	152	1,05	0,35	0,58	0,0047	191,30	0,02	0,07	36,72	0,03	1,16
	0,237	152	1,05	0,35	0,61	0,0055	325,70	0,02	0,08	37,82	0,04	1,14
	0,349	152	1,05	0,35	0,63	0,0038	136,80	0,03	0,08	37,80	0,04	1,19
	0,553	152	1,05	0,35	0,66	0,0028	137,00	0,04	0,07	35,94	0,03	1,07
	0,322	152	1,05	0,35	0,67	0,0046	270,90	0,03	0,09	40,15	0,04	1,19
	0,664	152	1,05	0,35	0,70	0,0025	69,80	0,04	0,07	34,91	0,03	1,03
	0,507	152	1,05	0,35	0,75	0,0039	176,50	0,04	0,09	41,71	0,04	1,10
	0,612	152	1,05	0,35	0,84	0,0039	157,20	0,04	0,10	43,53	0,04	1,04
	0,421	152	1,05	0,35	0,85	0,0055	401,50	0,03	0,12	48,28	0,05	1,16
	0,763	152	1,05	0,35	0,92	0,0039	160,90	0,05	0,11	44,45	0,04	1,01
	0,572	152	1,05	0,35	1,03	0,0054	319,90	0,04	0,13	50,27	0,05	1,06
	0,724	152	1,05	0,35	1,09	0,0054	328,10	0,05	0,14	51,71	0,05	1,01

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,211	152	1,95	0,35	0,38	0,0027	71,50	0,02	0,02	46,28	0,02	1,12
	0,191	152	1,95	0,35	0,42	0,0038	174,70	0,02	0,02	51,98	0,03	1,11
	0,309	152	1,95	0,35	0,43	0,0022	59,60	0,03	0,02	50,92	0,03	1,19
	0,382	152	1,95	0,35	0,49	0,0022	68,00	0,03	0,03	54,83	0,03	1,18
	0,309	152	1,95	0,35	0,49	0,0028	77,00	0,03	0,03	57,45	0,03	1,19
	0,408	152	1,95	0,35	0,58	0,0028	116,50	0,03	0,03	63,20	0,03	1,17
	0,257	152	1,95	0,35	0,58	0,0046	247,50	0,02	0,04	68,09	0,03	1,16
	0,237	152	1,95	0,35	0,60	0,0055	445,60	0,02	0,04	72,15	0,04	1,14
	0,355	152	1,95	0,35	0,62	0,0038	178,70	0,03	0,04	71,46	0,04	1,19
	0,553	152	1,95	0,35	0,67	0,0028	90,40	0,04	0,04	66,80	0,03	1,07
	0,316	152	1,95	0,35	0,67	0,0046	344,40	0,03	0,05	74,35	0,04	1,19
	0,671	152	1,95	0,35	0,69	0,0025	77,20	0,04	0,04	64,91	0,03	1,03
	0,507	152	1,95	0,35	0,75	0,0039	154,10	0,04	0,05	77,41	0,04	1,10
	0,605	152	1,95	0,35	0,85	0,0039	176,10	0,04	0,05	79,70	0,04	1,05
	0,428	152	1,95	0,35	0,86	0,0054	353,70	0,03	0,07	89,19	0,05	1,16
	0,757	152	1,95	0,35	0,92	0,0039	167,60	0,05	0,06	82,41	0,04	1,01
	0,566	152	1,95	0,35	1,01	0,0054	310,10	0,04	0,07	93,59	0,05	1,07
	0,711	152	1,95	0,35	1,06	0,0055	308,40	0,05	0,08	96,64	0,05	1,02
	0,349	152	2,56	0,35	0,37	0,0014	42,80	0,03	0,01	54,92	0,02	1,19
	0,224	152	2,56	0,35	0,37	0,0027	178,80	0,02	0,01	62,32	0,02	1,13
	0,191	152	2,56	0,35	0,42	0,0038	420,70	0,02	0,02	70,18	0,03	1,11
	0,303	152	2,56	0,35	0,43	0,0021	112,00	0,03	0,02	64,76	0,03	1,19
	0,316	152	2,56	0,35	0,43	0,0021	149,10	0,03	0,02	66,18	0,03	1,19
	0,309	152	2,56	0,35	0,49	0,0027	206,20	0,03	0,02	75,15	0,03	1,19
	0,382	152	2,56	0,35	0,50	0,0022	167,10	0,03	0,02	71,41	0,03	1,18
	0,414	152	2,56	0,35	0,57	0,0028	271,00	0,03	0,03	83,69	0,03	1,17
	0,263	152	2,56	0,35	0,58	0,0047	639,50	0,02	0,03	89,62	0,04	1,17
	0,237	152	2,56	0,35	0,61	0,0055	673,40	0,02	0,03	92,13	0,04	1,14
	0,349	152	2,56	0,35	0,62	0,0038	380,30	0,03	0,03	92,15	0,04	1,19
	0,553	152	2,56	0,35	0,67	0,0028	271,80	0,04	0,03	87,15	0,03	1,07
	0,322	152	2,56	0,35	0,67	0,0046	638,70	0,03	0,04	99,42	0,04	1,19
	0,658	152	2,56	0,35	0,70	0,0024	175,30	0,04	0,03	83,45	0,03	1,03
	0,507	152	2,56	0,35	0,75	0,0038	367,00	0,04	0,04	101,55	0,04	1,10
	0,612	152	2,56	0,35	0,84	0,0039	333,90	0,04	0,04	106,40	0,04	1,04
	0,428	152	2,56	0,35	0,83	0,0054	935,10	0,03	0,05	116,33	0,05	1,16
	0,770	152	2,56	0,35	0,90	0,0040	326,10	0,05	0,04	109,01	0,04	1,01
	0,579	152	2,56	0,35	0,98	0,0053	633,50	0,04	0,05	122,11	0,05	1,06
	0,724	152	2,56	0,35	1,07	0,0054	449,80	0,05	0,06	127,17	0,05	1,01
	0,217	152	5,22	0,35	0,38	0,0027	115,50	0,02	0,01	127,14	0,02	1,13
	0,191	152	5,22	0,35	0,40	0,0039	341,60	0,02	0,01	143,37	0,03	1,11
	0,309	152	5,22	0,35	0,42	0,0021	132,50	0,03	0,01	135,52	0,03	1,19
	0,520	152	5,22	0,35	0,49	0,0017	87,30	0,04	0,01	137,35	0,03	1,09

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,388	152	5,22	0,35	0,48	0,0022	175,90	0,03	0,01	148,96	0,03	1,18
	0,309	152	5,22	0,35	0,49	0,0027	165,80	0,03	0,01	153,38	0,03	1,19
	0,421	152	5,22	0,35	0,57	0,0027	249,30	0,03	0,01	169,57	0,03	1,16
	0,230	152	5,22	0,35	0,58	0,0056	766,20	0,02	0,02	189,28	0,04	1,14
	0,263	152	5,22	0,35	0,56	0,0047	679,00	0,02	0,01	183,13	0,04	1,17
	0,342	152	5,22	0,35	0,60	0,0039	389,10	0,03	0,02	188,83	0,04	1,19
	0,553	152	5,22	0,35	0,66	0,0027	238,60	0,04	0,01	177,38	0,03	1,07
	0,658	152	5,22	0,35	0,67	0,0025	165,90	0,04	0,01	173,86	0,03	1,03
	0,322	152	5,22	0,35	0,66	0,0046	674,10	0,03	0,02	203,72	0,04	1,19
	0,500	152	5,22	0,35	0,74	0,0039	359,70	0,04	0,02	208,25	0,04	1,10
	0,618	152	5,22	0,35	0,80	0,0039	344,80	0,04	0,02	216,51	0,04	1,04
	0,428	152	5,22	0,35	0,87	0,0055	648,90	0,03	0,03	240,94	0,05	1,16
	0,586	152	5,22	0,35	0,98	0,0055	484,80	0,04	0,03	255,74	0,05	1,06
	0,316	152	8,74	0,35	0,48	0,0027	174,20	0,03	0,01	256,48	0,03	1,19
	0,309	152	8,74	0,35	0,50	0,0027	188,70	0,03	0,01	254,93	0,03	1,19
	0,428	152	8,74	0,35	0,54	0,0027	415,40	0,03	0,01	284,22	0,03	1,16
	0,414	152	8,74	0,35	0,56	0,0027	271,80	0,03	0,01	283,89	0,03	1,17
	0,270	152	8,74	0,35	0,54	0,0047	1174,00	0,02	0,01	314,50	0,04	1,17
	0,263	152	8,74	0,35	0,56	0,0047	858,30	0,02	0,01	306,45	0,04	1,17
	0,237	152	8,74	0,35	0,59	0,0056	667,00	0,02	0,01	316,24	0,04	1,14
	0,237	152	8,74	0,35	0,59	0,0056	777,90	0,02	0,01	316,10	0,04	1,14
	0,355	152	8,74	0,35	0,60	0,0039	668,50	0,03	0,01	321,52	0,04	1,19
	0,349	152	8,74	0,35	0,61	0,0038	515,80	0,03	0,01	315,84	0,04	1,19
	0,566	152	8,74	0,35	0,65	0,0028	296,40	0,04	0,01	301,39	0,03	1,07
	0,671	152	8,74	0,35	0,66	0,0026	171,40	0,04	0,01	295,27	0,03	1,03
	0,329	152	8,74	0,35	0,64	0,0047	1003,00	0,03	0,01	341,56	0,04	1,19
	0,500	152	8,74	0,35	0,74	0,0039	406,90	0,04	0,01	347,78	0,04	1,10
	0,618	152	8,74	0,35	0,79	0,0039	546,50	0,04	0,01	362,74	0,04	1,04
	0,612	152	8,74	0,35	0,80	0,0039	482,90	0,04	0,01	361,15	0,04	1,04
	0,441	152	8,74	0,35	0,84	0,0055	999,30	0,04	0,02	405,63	0,05	1,14
	0,447	152	8,74	0,35	0,83	0,0055	1275,00	0,04	0,02	406,20	0,05	1,14
	0,803	152	8,74	0,35	0,90	0,0040	421,20	0,05	0,01	370,68	0,04	1,00
	0,586	152	8,74	0,35	0,96	0,0055	844,30	0,04	0,02	426,06	0,05	1,06
	0,763	152	8,74	0,35	1,07	0,0055	635,30	0,05	0,02	438,69	0,05	1,01
MAY	1,000	299	0,72	0,70	0,89	0,0025	29,90	0,07	0,16	30,66	0,04	1,00
	1,000	299	0,72	0,70	1,01	0,0031	45,50	0,07	0,20	34,38	0,05	1,00
	1,000	299	0,72	0,70	0,80	0,0020	14,50	0,07	0,13	27,59	0,04	1,00
	1,000	299	0,72	0,70	0,70	0,0015	7,60	0,07	0,10	24,22	0,03	1,00
	1,000	299	0,72	0,70	0,50	0,0008	0,67	0,07	0,05	17,65	0,02	1,00
	1,000	299	0,72	0,70	0,60	0,0012	4,10	0,07	0,07	21,07	0,03	1,00
	1,000	299	0,72	0,70	1,20	0,0043	69,70	0,07	0,27	40,63	0,06	1,00
	1,000	299	0,72	0,70	1,10	0,0037	55,30	0,07	0,23	37,44	0,05	1,00

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	1,000	299	0,72	0,70	0,55	0,0010	2,10	0,07	0,06	19,28	0,03	1,00
	1,000	299	0,72	0,70	1,39	0,0058	98,70	0,07	0,36	46,87	0,07	1,00
	0,734	299	0,72	0,70	1,02	0,0025	42,50	0,09	0,19	34,19	0,05	1,01
	0,750	299	0,72	0,70	0,81	0,0016	8,30	0,09	0,12	27,31	0,04	1,01
	0,730	299	0,72	0,70	1,13	0,0031	41,60	0,09	0,24	37,87	0,05	1,01
	0,750	299	0,72	0,70	0,50	0,0007	0,31	0,09	0,05	17,42	0,02	1,01
	0,750	299	0,72	0,70	1,11	0,0030	66,10	0,09	0,23	37,09	0,05	1,01
	0,740	299	0,72	0,70	0,81	0,0016	20,70	0,09	0,12	27,46	0,04	1,01
	0,750	299	0,72	0,70	0,60	0,0009	1,50	0,09	0,07	20,73	0,03	1,01
	0,511	299	0,72	0,70	0,97	0,0029	70,10	0,08	0,20	34,76	0,05	1,10
	0,504	299	0,72	0,70	0,90	0,0025	22,20	0,08	0,17	32,23	0,04	1,10
	0,490	299	0,72	0,70	1,02	0,0033	32,70	0,07	0,22	36,76	0,05	1,11
	0,499	299	0,72	0,70	0,70	0,0016	6,70	0,07	0,11	25,57	0,04	1,10
	0,494	299	0,72	0,70	0,81	0,0021	27,50	0,07	0,14	29,45	0,04	1,11
	0,513	299	0,72	0,70	0,87	0,0023	30,50	0,08	0,16	31,22	0,04	1,09
	0,498	299	0,72	0,70	1,08	0,0036	51,50	0,07	0,25	38,68	0,05	1,10
	0,502	299	0,72	0,70	1,19	0,0043	55,70	0,07	0,30	42,44	0,06	1,10
	0,519	299	0,72	0,70	1,24	0,0045	136,00	0,08	0,32	43,72	0,06	1,09
	0,490	299	0,72	0,70	0,71	0,0016	9,60	0,07	0,11	26,09	0,04	1,11
	0,490	299	0,72	0,70	0,82	0,0021	20,80	0,07	0,15	29,85	0,04	1,11
	0,520	299	0,72	0,70	0,86	0,0023	29,40	0,08	0,16	30,92	0,04	1,09
	0,510	299	0,72	0,70	0,98	0,0029	24,10	0,08	0,20	35,15	0,05	1,10
	0,510	299	0,72	0,70	1,07	0,0034	35,20	0,08	0,24	38,00	0,05	1,10
	0,520	299	0,72	0,70	1,12	0,0037	87,50	0,08	0,26	39,66	0,06	1,09
	0,500	299	0,72	0,70	1,29	0,0050	221,00	0,07	0,35	45,89	0,06	1,10
	0,520	299	0,72	0,70	0,95	0,0027	35,40	0,08	0,19	33,81	0,05	1,09
	0,530	299	0,72	0,70	1,04	0,0031	47,20	0,08	0,22	36,64	0,05	1,08
	0,500	299	0,72	0,70	1,39	0,0058	230,00	0,07	0,40	49,19	0,07	1,10
	0,500	299	0,72	0,70	1,50	0,0067	251,00	0,07	0,47	53,05	0,07	1,10
	0,500	299	0,72	0,70	1,19	0,0043	110,00	0,07	0,30	42,47	0,06	1,10
	0,500	299	0,72	0,70	1,29	0,0051	175,00	0,07	0,35	46,03	0,06	1,10
	0,500	299	0,72	0,70	0,60	0,0012	4,40	0,07	0,08	21,98	0,03	1,10
	0,500	299	0,72	0,70	0,50	0,0008	1,00	0,07	0,06	18,49	0,03	1,10
	0,500	299	0,72	0,70	1,50	0,0067	280,00	0,07	0,47	53,02	0,07	1,10
	0,500	299	0,72	0,70	0,50	0,0008	4,50	0,07	0,06	18,35	0,03	1,10
	0,380	299	0,72	0,70	0,80	0,0025	19,50	0,06	0,16	30,71	0,04	1,18
	0,380	299	0,72	0,70	1,10	0,0047	98,00	0,06	0,29	41,65	0,06	1,18
	0,370	299	0,72	0,70	0,60	0,0015	8,00	0,06	0,09	23,35	0,03	1,19
	0,380	299	0,72	0,70	0,60	0,0015	2,50	0,06	0,09	23,20	0,03	1,18
	0,380	299	0,72	0,70	1,40	0,0074	443,00	0,06	0,46	52,45	0,07	1,18
MAY	1,000	158	0,64	0,35	0,43	0,0012	4,70	0,04	0,04	13,57	0,02	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,45	0,0013	5,70	0,04	0,05	14,19	0,02	1,00

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	1,000	158	0,64	0,35	0,48	0,0014	7,80	0,04	0,05	15,03	0,02	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,51	0,0016	10,00	0,04	0,06	15,72	0,02	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,57	0,0019	16,80	0,04	0,07	17,35	0,03	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,60	0,0021	32,10	0,04	0,08	18,26	0,03	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,63	0,0023	36,60	0,04	0,09	18,99	0,03	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,66	0,0025	38,30	0,04	0,09	19,89	0,03	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,70	0,0027	47,10	0,04	0,10	20,89	0,03	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,79	0,0034	77,20	0,04	0,13	23,30	0,04	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	0,89	0,0043	177,00	0,04	0,16	26,14	0,04	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	1,00	0,0053	250,00	0,04	0,20	28,89	0,05	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	1,09	0,0062	352,00	0,04	0,23	31,30	0,05	1,00
	1,000	158	0,64	0,35	1,20	0,0073	353,00	0,04	0,27	34,08	0,05	1,00
	0,738	158	0,64	0,35	0,51	0,0013	12,90	0,05	0,06	15,58	0,02	1,01
	0,752	158	0,64	0,35	0,60	0,0017	28,80	0,05	0,08	17,98	0,03	1,01
	0,743	158	0,64	0,35	0,71	0,0023	39,40	0,05	0,10	20,89	0,03	1,01
	0,742	158	0,64	0,35	0,81	0,0029	77,10	0,05	0,13	23,53	0,04	1,01
	0,777	158	0,64	0,35	0,87	0,0033	113,00	0,05	0,15	25,12	0,04	1,01
	0,500	158	0,64	0,35	0,51	0,0016	11,20	0,04	0,07	16,71	0,03	1,10
	0,500	158	0,64	0,35	0,57	0,0019	35,00	0,04	0,08	18,33	0,03	1,10
	0,501	158	0,64	0,35	0,61	0,0022	44,20	0,04	0,09	19,47	0,03	1,10
	0,501	158	0,64	0,35	0,63	0,0023	53,70	0,04	0,09	20,04	0,03	1,10
	0,504	158	0,64	0,35	0,66	0,0025	75,80	0,04	0,10	20,79	0,03	1,10
	0,384	158	0,64	0,35	0,48	0,0018	53,90	0,03	0,07	16,75	0,03	1,18
	0,395	158	0,64	0,35	0,56	0,0023	75,40	0,03	0,08	18,94	0,03	1,18
	0,373	158	0,64	0,35	0,71	0,0036	86,90	0,03	0,13	23,55	0,04	1,19
	0,374	158	0,64	0,35	0,80	0,0046	130,00	0,03	0,16	26,45	0,04	1,19
	0,370	158	0,64	0,35	0,92	0,0058	148,00	0,03	0,21	29,82	0,05	1,19
	0,372	158	0,64	0,35	1,01	0,0069	397,00	0,03	0,25	32,55	0,05	1,19
	0,383	158	0,64	0,35	1,07	0,0075	507,00	0,03	0,27	34,06	0,05	1,18
	1,000	158	5,80	0,35	0,78	0,0034	144,00	0,04	0,01	209,24	0,04	1,00
	1,000	158	5,80	0,35	0,89	0,0043	207,00	0,04	0,02	235,90	0,04	1,00
	1,000	158	5,80	0,35	1,00	0,0053	478,00	0,04	0,02	261,79	0,05	1,00
	1,000	158	5,80	0,35	1,08	0,0061	687,00	0,04	0,03	281,80	0,05	1,00
	1,000	158	5,80	0,35	1,19	0,0072	918,00	0,04	0,03	306,10	0,05	1,00
	1,000	158	7,90	0,35	0,78	0,0034	132,00	0,04	0,01	285,00	0,04	1,00
	1,000	158	7,90	0,35	0,89	0,0043	214,00	0,04	0,01	321,32	0,04	1,00
	1,000	158	7,90	0,35	1,00	0,0053	413,00	0,04	0,02	356,58	0,05	1,00
	1,000	158	7,90	0,35	1,08	0,0061	522,00	0,04	0,02	383,83	0,05	1,00
	1,000	158	7,90	0,35	1,19	0,0072	612,00	0,04	0,02	416,92	0,05	1,00
MAY	1,000	77	0,57	0,35	0,48	0,0038	58,50	0,02	0,08	15,22	0,03	1,00
	1,000	77	0,57	0,35	0,60	0,0058	170,00	0,02	0,12	18,83	0,03	1,00
	1,000	77	0,57	0,35	0,70	0,0078	346,00	0,02	0,16	21,85	0,04	1,00

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	1,000	77	0,57	0,35	0,80	0,0104	509,00	0,02	0,21	25,24	0,04	1,00
	1,000	77	0,57	0,35	0,90	0,0131	740,00	0,02	0,27	28,32	0,05	1,00
	1,000	77	0,57	0,35	1,01	0,0166	1150,00	0,02	0,34	31,85	0,06	1,00
	1,000	77	0,57	0,35	1,10	0,0194	1430,00	0,02	0,40	34,45	0,06	1,00
	1,000	77	0,57	0,35	1,21	0,0237	2110,00	0,02	0,48	38,07	0,07	1,00

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
OTA - NEWCASTLE	0,334	305	0,71	1,00	0,56	0,002	20,44	0,06	0,12	26,21	0,037	1,19
	0,413	305	0,71	1,00	0,63	0,002	17,47	0,07	0,13	28,07	0,039	1,17
	0,489	305	0,71	1,00	0,68	0,002	20,18	0,08	0,14	29,00	0,041	1,11
	0,620	305	0,71	1,00	0,74	0,002	16,17	0,09	0,15	30,07	0,042	1,04
	0,180	305	1,18	1,00	0,39	0,002	5,39	0,03	0,04	31,86	0,027	1,10
	0,213	305	1,18	1,00	0,44	0,002	10,06	0,04	0,04	34,67	0,029	1,13
	0,233	305	1,18	1,00	0,47	0,002	8,39	0,04	0,05	36,45	0,031	1,14
	0,289	305	1,18	1,00	0,52	0,002	16,07	0,05	0,06	40,48	0,034	1,18
	0,334	305	1,18	1,00	0,56	0,002	25,16	0,06	0,07	43,42	0,037	1,19
	0,489	305	1,18	1,00	0,68	0,002	24,90	0,08	0,09	48,05	0,041	1,11
	0,620	305	1,18	1,00	0,74	0,002	20,67	0,09	0,09	49,83	0,042	1,04
	0,233	305	2,00	1,00	0,47	0,002	15,72	0,04	0,03	61,71	0,031	1,14
	0,289	305	2,00	1,00	0,52	0,002	27,95	0,05	0,04	68,87	0,034	1,18
	0,334	305	2,00	1,00	0,56	0,002	28,83	0,06	0,04	73,52	0,037	1,19
	0,413	305	2,00	1,00	0,63	0,002	29,70	0,07	0,05	78,74	0,039	1,17
	0,489	305	2,00	1,00	0,68	0,002	31,97	0,08	0,05	81,36	0,041	1,11
	0,620	305	2,00	1,00	0,74	0,002	26,95	0,09	0,05	84,36	0,042	1,04
	0,213	305	2,81	1,00	0,44	0,002	6,29	0,04	0,02	82,80	0,029	1,13
	0,233	305	2,81	1,00	0,47	0,002	12,58	0,04	0,02	86,64	0,031	1,14
	0,289	305	2,81	1,00	0,52	0,002	26,56	0,05	0,03	96,69	0,034	1,18
	0,334	305	2,81	1,00	0,56	0,002	31,45	0,06	0,03	103,21	0,037	1,19
	0,489	305	2,81	1,00	0,68	0,002	35,38	0,08	0,04	114,21	0,041	1,11
	0,620	305	2,81	1,00	0,74	0,002	29,65	0,09	0,04	118,44	0,042	1,04
	0,213	305	4,09	1,00	0,44	0,002	5,03	0,04	0,01	120,53	0,029	1,13
	0,233	305	4,09	1,00	0,47	0,002	17,82	0,04	0,01	126,11	0,031	1,14
	0,289	305	4,09	1,00	0,52	0,002	36,34	0,05	0,02	140,73	0,034	1,18
	0,334	305	4,09	1,00	0,56	0,002	43,50	0,06	0,02	150,23	0,037	1,19
	0,413	305	4,09	1,00	0,63	0,002	45,42	0,07	0,02	160,91	0,039	1,17
	0,489	305	4,09	1,00	0,68	0,002	43,24	0,08	0,02	166,24	0,041	1,11
	0,620	305	4,09	1,00	0,74	0,002	41,33	0,09	0,03	172,39	0,042	1,04
	0,233	305	5,61	1,00	0,47	0,002	4,19	0,04	0,01	172,91	0,031	1,14
	0,289	305	5,61	1,00	0,52	0,002	45,42	0,05	0,01	192,96	0,034	1,18
	0,334	305	5,61	1,00	0,56	0,002	57,65	0,06	0,01	205,98	0,037	1,19
	0,413	305	5,61	1,00	0,63	0,002	59,40	0,07	0,02	220,62	0,039	1,17
	0,489	305	5,61	1,00	0,68	0,002	57,65	0,08	0,02	227,94	0,041	1,11
	0,620	305	5,61	1,00	0,74	0,002	52,11	0,09	0,02	236,37	0,042	1,04
OTA - CHALMERS	0,338	225	1,41	0,70	0,51	0,002	33,54	0,04	0,0435	44,43	0,032	1,20
	0,498	225	1,41	0,70	0,63	0,002	52,83	0,06	0,05	49,13	0,035	1,10
	0,662	225	1,41	0,70	0,71	0,002	45,60	0,07	0,06	51,20	0,036	1,03
	0,804	225	1,41	0,70	0,76	0,002	45,96	0,07	0,06	51,78	0,037	1,00
	0,338	225	2,82	0,70	0,51	0,002	37,74	0,04	0,02	88,85	0,032	1,20
	0,418	225	2,82	0,70	0,57	0,002	65,69	0,05	0,02	95,03	0,034	1,16

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,498	225	2,82	0,70	0,63	0,002	63,90	0,06	0,03	98,26	0,035	1,10
	0,662	225	2,82	0,70	0,71	0,002	56,60	0,07	0,03	102,41	0,036	1,03
	0,804	225	2,82	0,70	0,76	0,002	55,64	0,07	0,03	103,55	0,037	1,00
	0,338	225	4,73	0,70	0,51	0,002	26,21	0,04	0,01	149,03	0,032	1,20
	0,418	225	4,73	0,70	0,57	0,002	69,88	0,05	0,01	159,39	0,034	1,16
	0,498	225	4,73	0,70	0,63	0,002	77,99	0,06	0,02	164,81	0,035	1,10
	0,662	225	4,73	0,70	0,71	0,002	64,47	0,07	0,02	171,77	0,036	1,03
AB GHANI - SMOOTH RIGID BED 154mm	0,159	154	0,93	0,35	0,24	0,0018	52,00	0,02	0,02	15,63	0,017	1,09
	0,293	154	0,93	0,35	0,49	0,0031	249,00	0,03	0,06	28,49	0,031	1,18
	0,433	154	0,93	0,35	0,75	0,0048	426,00	0,04	0,13	40,42	0,043	1,15
	0,228	154	0,93	0,35	0,38	0,0027	147,00	0,02	0,04	23,16	0,025	1,14
	0,486	154	0,93	0,35	0,72	0,0033	151,00	0,04	0,09	34,11	0,037	1,11
	0,248	154	2,00	0,35	0,36	0,0026	200,00	0,02	0,02	51,84	0,026	1,16
	0,153	154	2,00	0,35	0,25	0,0026	113,00	0,01	0,01	39,98	0,020	1,08
	0,332	154	2,00	0,35	0,50	0,0027	186,00	0,03	0,03	60,10	0,030	1,19
	0,413	154	2,00	0,35	0,61	0,0035	309,00	0,03	0,04	73,18	0,037	1,17
	0,459	154	2,00	0,35	0,45	0,0018	167,00	0,04	0,02	54,34	0,027	1,13
	0,356	154	2,00	0,35	0,41	0,0022	167,00	0,03	0,02	55,38	0,028	1,19
	0,483	154	4,20	0,35	0,53	0,0022	164,00	0,04	0,01	126,11	0,030	1,11
	0,400	154	4,20	0,35	0,74	0,0046	268,00	0,03	0,03	175,02	0,042	1,17
	0,483	154	4,20	0,35	0,78	0,0046	205,00	0,04	0,03	181,92	0,043	1,11
	0,307	154	4,20	0,35	0,46	0,0037	285,00	0,03	0,02	143,68	0,034	1,19
	0,235	154	4,20	0,35	0,40	0,0025	163,00	0,02	0,01	102,64	0,024	1,14
	0,316	154	4,20	0,35	0,40	0,0022	212,00	0,03	0,01	111,74	0,027	1,19
	0,398	154	4,20	0,35	0,68	0,0048	1014,00	0,03	0,03	178,99	0,043	1,18
	0,288	154	4,20	0,35	0,50	0,0033	822,00	0,03	0,01	130,35	0,031	1,18
	0,280	154	4,20	0,35	0,56	0,0049	1260,00	0,02	0,02	157,96	0,038	1,18
	0,207	154	4,20	0,35	0,44	0,0050	1450,00	0,02	0,02	136,33	0,032	1,12
	0,418	154	5,70	0,35	0,74	0,0049	1237,00	0,03	0,02	247,82	0,043	1,16
	0,243	154	5,70	0,35	0,38	0,0032	734,00	0,02	0,01	160,07	0,028	1,15
	0,287	154	5,70	0,35	0,48	0,0036	1221,00	0,03	0,01	185,59	0,033	1,18
	0,478	154	5,70	0,35	0,74	0,0049	1258,00	0,04	0,02	255,22	0,045	1,12
	0,364	154	5,70	0,35	0,60	0,0043	1382,00	0,03	0,02	224,01	0,039	1,19
	0,519	154	0,93	0,35	0,82	0,0048	296,00	0,04	0,13	41,69	0,045	1,09
	0,757	154	0,93	0,35	0,52	0,0012	38,00	0,05	0,04	21,49	0,023	1,01
	0,628	154	0,93	0,35	0,65	0,0023	82,00	0,04	0,07	29,69	0,032	1,04
	0,647	154	2,00	0,35	0,63	0,0024	115,00	0,04	0,03	66,10	0,033	1,03
	0,520	154	2,00	0,35	0,73	0,0035	291,00	0,04	0,05	77,04	0,039	1,09
	0,558	154	2,00	0,35	0,62	0,0027	155,00	0,04	0,04	67,94	0,034	1,07
	0,603	154	2,00	0,35	0,62	0,0022	121,00	0,04	0,03	61,60	0,031	1,05
	0,680	154	4,20	0,35	0,60	0,0021	138,00	0,05	0,01	128,63	0,031	1,02
	0,529	154	4,20	0,35	0,76	0,0042	373,00	0,04	0,03	177,28	0,042	1,08

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,537	154	4,20	0,35	0,75	0,0038	168,00	0,04	0,02	169,25	0,040	1,08
	0,582	154	5,70	0,35	0,86	0,0053	1415,00	0,04	0,03	273,81	0,048	1,06
	0,738	154	5,70	0,35	0,66	0,0023	369,00	0,05	0,01	186,19	0,033	1,01
	0,556	154	5,70	0,35	0,63	0,0032	989,00	0,04	0,02	212,31	0,037	1,07
AB GHANI - SMOOTH RIGID BED 305mm	0,211	305	0,46	0,35	0,72	0,0034	197,00	0,04	0,20	17,60	0,038	1,12
	0,292	305	0,46	0,35	1,15	0,0053	730,00	0,05	0,42	25,87	0,056	1,18
	0,357	305	0,46	0,35	0,67	0,0015	79,00	0,06	0,14	15,04	0,033	1,19
	0,405	305	0,46	0,35	0,59	0,0011	27,00	0,07	0,11	13,16	0,029	1,17
	0,445	305	0,46	0,35	0,89	0,0023	168,00	0,07	0,24	19,58	0,043	1,14
	0,498	305	0,46	0,35	0,49	0,0006	8,00	0,08	0,07	10,40	0,023	1,10
	0,210	305	0,97	0,35	0,72	0,0035	222,00	0,04	0,09	37,44	0,039	1,12
	0,230	305	0,97	0,35	0,75	0,0033	232,00	0,04	0,10	38,09	0,039	1,14
	0,244	305	0,97	0,35	0,58	0,0020	80,00	0,04	0,06	30,60	0,032	1,15
	0,293	305	0,97	0,35	1,17	0,0053	734,00	0,05	0,20	54,51	0,056	1,18
	0,340	305	0,97	0,35	1,14	0,0044	388,00	0,06	0,19	53,15	0,055	1,20
	0,341	305	0,97	0,35	0,93	0,0031	183,00	0,06	0,13	44,31	0,046	1,19
	0,358	305	0,97	0,35	0,67	0,0015	88,00	0,06	0,07	31,43	0,032	1,19
	0,404	305	0,97	0,35	0,59	0,0011	38,00	0,07	0,05	27,74	0,029	1,17
	0,455	305	0,97	0,35	0,69	0,0012	27,00	0,07	0,06	30,22	0,031	1,13
	0,497	305	0,97	0,35	0,49	0,0006	13,00	0,08	0,03	22,15	0,023	1,10
	0,265	305	2,00	0,35	0,87	0,0037	294,00	0,05	0,06	88,97	0,044	1,17
	0,295	305	2,00	0,35	1,08	0,0051	503,00	0,05	0,09	110,32	0,055	1,19
	0,342	305	2,00	0,35	0,94	0,0031	202,00	0,06	0,07	92,21	0,046	1,19
	0,342	305	2,00	0,35	0,40	0,0007	12,00	0,06	0,01	43,18	0,022	1,19
	0,344	305	2,00	0,35	0,76	0,0021	121,00	0,06	0,04	75,72	0,038	1,19
	0,360	305	2,00	0,35	0,65	0,0015	70,00	0,06	0,03	64,91	0,032	1,19
	0,428	305	2,00	0,35	0,59	0,0008	33,00	0,07	0,02	50,55	0,025	1,15
	0,512	305	2,00	0,35	0,51	0,0007	9,00	0,08	0,02	48,89	0,024	1,09
	0,232	305	4,20	0,35	0,74	0,0033	394,00	0,04	0,02	165,19	0,039	1,14
	0,265	305	4,20	0,35	0,87	0,0037	461,00	0,05	0,03	186,67	0,044	1,17
	0,274	305	4,20	0,35	0,89	0,0040	486,00	0,05	0,03	198,84	0,047	1,17
	0,296	305	4,20	0,35	1,08	0,0053	997,00	0,05	0,05	236,92	0,056	1,19
	0,330	305	4,20	0,35	0,55	0,0014	43,00	0,06	0,01	128,14	0,031	1,19
	0,340	305	4,20	0,35	0,40	0,0007	7,00	0,06	0,01	93,44	0,022	1,20
	0,342	305	4,20	0,35	0,94	0,0032	308,00	0,06	0,03	194,70	0,046	1,19
	0,349	305	4,20	0,35	1,12	0,0044	903,00	0,06	0,04	232,29	0,055	1,19
	0,388	305	4,20	0,35	0,44	0,0008	14,00	0,06	0,01	98,94	0,024	1,18
	0,459	305	4,20	0,35	0,68	0,0012	52,00	0,07	0,01	129,94	0,031	1,13
	0,509	305	4,20	0,35	0,52	0,0007	17,00	0,08	0,01	99,81	0,024	1,10
	0,234	305	5,70	0,35	0,73	0,0033	418,00	0,04	0,02	225,12	0,039	1,14
	0,244	305	5,70	0,35	0,59	0,0020	196,00	0,04	0,01	179,97	0,032	1,15
	0,267	305	5,70	0,35	0,86	0,0037	566,00	0,05	0,02	254,99	0,045	1,17

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,299	305	5,70	0,35	1,07	0,0049	1183,00	0,05	0,03	310,14	0,054	1,19
	0,343	305	5,70	0,35	0,92	0,0031	374,00	0,06	0,02	261,50	0,046	1,19
	0,347	305	5,70	0,35	0,75	0,0020	298,00	0,06	0,02	213,56	0,037	1,19
	0,349	305	5,70	0,35	1,12	0,0047	1190,00	0,06	0,03	322,88	0,057	1,19
	0,361	305	5,70	0,35	0,65	0,0014	93,00	0,06	0,01	181,02	0,032	1,19
	0,429	305	5,70	0,35	0,58	0,0008	44,00	0,07	0,01	144,71	0,025	1,15
	0,489	305	5,70	0,35	0,68	0,0011	57,00	0,08	0,01	170,17	0,030	1,11
	0,212	305	8,30	0,35	0,72	0,0034	647,00	0,04	0,01	317,99	0,038	1,12
	0,269	305	8,30	0,35	0,85	0,0037	755,00	0,05	0,02	373,74	0,045	1,17
	0,295	305	8,30	0,35	1,13	0,0051	1280,00	0,05	0,02	456,09	0,055	1,19
	0,362	305	8,30	0,35	0,65	0,0015	144,00	0,06	0,01	271,93	0,033	1,19
	0,406	305	8,30	0,35	1,21	0,0044	1128,00	0,07	0,02	478,11	0,058	1,17
	0,406	305	8,30	0,35	0,58	0,0011	63,00	0,07	0,01	238,17	0,029	1,17
	0,446	305	8,30	0,35	0,89	0,0023	316,00	0,07	0,01	355,87	0,043	1,14
	0,491	305	8,30	0,35	0,68	0,0011	68,00	0,08	0,01	245,08	0,030	1,11
	0,497	305	8,30	0,35	0,49	0,0006	0,76	0,08	0,00	188,22	0,023	1,10
	0,550	305	0,46	0,35	0,67	0,0011	19,00	0,08	0,12	14,03	0,030	1,07
	0,592	305	0,46	0,35	0,83	0,0016	43,00	0,08	0,19	17,09	0,037	1,05
	0,639	305	0,46	0,35	0,56	0,0008	6,00	0,09	0,09	12,15	0,026	1,04
	0,755	305	0,46	0,35	0,60	0,0008	5,40	0,09	0,10	12,73	0,028	1,01
	0,551	305	0,97	0,35	0,67	0,0010	25,00	0,08	0,05	28,49	0,029	1,07
	0,603	305	0,97	0,35	0,81	0,0016	50,00	0,08	0,09	36,46	0,038	1,05
	0,637	305	0,97	0,35	0,56	0,0008	13,00	0,09	0,04	25,63	0,026	1,04
	0,710	305	0,97	0,35	0,52	0,0006	5,70	0,09	0,04	23,16	0,024	1,02
	0,758	305	0,97	0,35	0,61	0,0008	10,00	0,09	0,05	26,18	0,027	1,01
	0,805	305	0,97	0,35	0,51	0,0006	3,50	0,09	0,04	23,11	0,024	1,00
	0,526	305	2,00	0,35	0,72	0,0013	53,00	0,08	0,03	65,63	0,033	1,09
	0,556	305	2,00	0,35	0,78	0,0014	51,00	0,08	0,04	69,26	0,035	1,07
	0,578	305	2,00	0,35	0,70	0,0010	36,00	0,08	0,03	59,23	0,030	1,06
	0,632	305	2,00	0,35	0,49	0,0006	4,00	0,09	0,02	47,85	0,024	1,04
	0,640	305	2,00	0,35	0,56	0,0008	13,00	0,09	0,02	52,73	0,026	1,04
	0,717	305	2,00	0,35	0,51	0,0006	7,00	0,09	0,02	47,40	0,024	1,01
	0,756	305	2,00	0,35	0,61	0,0008	14,00	0,09	0,02	54,77	0,027	1,01
	0,526	305	4,20	0,35	0,72	0,0013	80,00	0,08	0,02	137,56	0,033	1,09
	0,563	305	4,20	0,35	0,66	0,0012	66,00	0,08	0,01	133,11	0,032	1,07
	0,599	305	4,20	0,35	0,82	0,0016	75,00	0,08	0,02	155,82	0,037	1,05
	0,674	305	4,20	0,35	0,61	0,0008	37,00	0,09	0,01	112,43	0,027	1,03
	0,709	305	4,20	0,35	0,52	0,0006	8,80	0,09	0,01	99,99	0,024	1,02
	0,756	305	4,20	0,35	0,61	0,0008	17,00	0,09	0,01	112,60	0,027	1,01
	0,803	305	4,20	0,35	0,51	0,0006	8,00	0,09	0,01	100,31	0,024	1,00
	0,524	305	5,70	0,35	0,73	0,0013	99,00	0,08	0,01	189,66	0,033	1,09
	0,554	305	5,70	0,35	0,78	0,0014	66,00	0,08	0,01	199,62	0,035	1,07

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,578	305	5,70	0,35	0,70	0,0011	60,00	0,08	0,01	172,15	0,030	1,06
	0,637	305	5,70	0,35	0,56	0,0008	20,00	0,09	0,01	150,44	0,026	1,04
	0,676	305	5,70	0,35	0,61	0,0007	28,00	0,09	0,01	142,88	0,025	1,03
	0,756	305	5,70	0,35	0,61	0,0008	20,00	0,09	0,01	153,88	0,027	1,01
	0,526	305	8,30	0,35	0,73	0,0013	105,00	0,08	0,01	271,88	0,033	1,09
	0,556	305	8,30	0,35	0,76	0,0015	85,00	0,08	0,01	296,29	0,036	1,07
	0,580	305	8,30	0,35	0,70	0,0010	88,00	0,08	0,01	248,84	0,030	1,06
	0,674	305	8,30	0,35	0,61	0,0008	30,00	0,09	0,01	220,67	0,027	1,03
	0,758	305	8,30	0,35	0,60	0,0008	24,00	0,09	0,01	227,53	0,027	1,01
AB GHANI - SMOOTH RIGID BED 450mm	0,497	450	0,72	0,70	0,61	0,0007	5,00	0,11	0,07	20,63	0,029	1,10
	0,503	450	0,72	0,70	0,79	0,0012	13,00	0,11	0,12	27,22	0,038	1,10
	0,496	450	0,72	0,70	0,98	0,0020	22,00	0,11	0,21	35,49	0,049	1,10
	0,500	450	0,72	0,70	0,51	0,0005	4,00	0,11	0,05	17,31	0,024	1,10
	0,497	450	0,72	0,70	0,71	0,0010	7,00	0,11	0,10	24,81	0,034	1,10
	0,498	450	0,72	0,70	0,81	0,0012	8,00	0,11	0,12	27,39	0,038	1,10
	0,495	450	0,72	0,70	0,91	0,0016	11,00	0,11	0,17	31,78	0,044	1,10
	0,500	450	0,72	0,70	0,99	0,0020	18,00	0,11	0,21	35,36	0,049	1,10
	0,509	450	0,72	0,70	1,07	0,0020	20,00	0,11	0,21	35,57	0,049	1,10
	0,498	450	0,72	0,70	0,71	0,0010	5,00	0,11	0,10	24,85	0,035	1,10
	0,500	450	0,72	0,70	0,50	0,0005	2,00	0,11	0,05	17,88	0,025	1,10
	0,497	450	0,72	0,70	0,60	0,0007	5,00	0,11	0,07	21,20	0,029	1,10
	0,494	450	0,72	0,70	1,22	0,0031	38,00	0,11	0,32	43,77	0,061	1,11
	0,497	450	0,72	0,70	0,75	0,0011	13,00	0,11	0,11	25,80	0,036	1,10
	0,500	450	0,72	0,70	0,85	0,0013	19,00	0,11	0,14	28,81	0,040	1,10
	0,499	450	0,72	0,70	0,55	0,0006	3,00	0,11	0,06	19,00	0,026	1,10
	0,495	450	0,72	0,70	0,65	0,0008	5,00	0,11	0,09	22,69	0,032	1,10
	0,499	450	0,72	0,70	0,84	0,0012	14,00	0,11	0,13	27,89	0,039	1,10
	0,747	450	0,72	0,70	0,50	0,0004	2,00	0,14	0,05	16,95	0,024	1,01
	0,749	450	0,72	0,70	0,70	0,0008	7,00	0,14	0,09	22,89	0,032	1,01
	0,750	450	0,72	0,70	0,79	0,0010	12,00	0,14	0,12	26,90	0,037	1,01
	0,747	450	0,72	0,70	0,90	0,0011	18,00	0,14	0,13	27,55	0,038	1,01
	0,750	450	0,72	0,70	0,60	0,0005	4,00	0,14	0,06	18,62	0,026	1,01
	0,749	450	0,72	0,70	0,75	0,0008	7,00	0,14	0,10	23,98	0,033	1,01
	0,746	450	0,72	0,70	0,66	0,0007	5,00	0,14	0,08	21,57	0,030	1,01
	0,744	450	0,72	0,70	0,86	0,0011	14,00	0,14	0,13	27,76	0,039	1,01
	0,745	450	0,72	0,70	0,71	0,0008	7,00	0,14	0,09	23,22	0,032	1,01
AB GHANI - 305mm, rugosidade equivalente a 0,53	0,238	305	0,97	0,50	0,82	0,0055	320,00	0,04	0,17	50,09	0,052	1,14
	0,486	305	0,97	0,50	0,52	0,0012	14,00	0,07	0,06	29,88	0,031	1,11
	0,390	305	0,97	0,50	0,61	0,0018	49,00	0,06	0,09	35,59	0,037	1,18
	0,346	305	0,97	0,50	0,70	0,0027	125,00	0,06	0,12	41,56	0,043	1,19
	0,270	305	0,97	0,50	0,84	0,0052	262,00	0,05	0,18	51,59	0,053	1,17
	0,302	305	0,97	0,50	0,97	0,0052	379,00	0,05	0,20	54,84	0,057	1,19

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,291	305	2,00	0,50	0,68	0,0032	161,00	0,05	0,06	87,48	0,044	1,18
	0,488	305	2,00	0,50	0,52	0,0011	13,00	0,08	0,03	60,76	0,030	1,11
	0,389	305	2,00	0,50	0,61	0,0018	61,00	0,06	0,04	72,73	0,036	1,18
	0,348	305	2,00	0,50	0,69	0,0027	129,00	0,06	0,06	85,91	0,043	1,19
	0,271	305	2,00	0,50	0,84	0,0052	318,00	0,05	0,09	106,88	0,053	1,17
	0,177	305	2,00	0,50	0,70	0,0055	318,00	0,03	0,06	88,93	0,044	1,10
	0,366	305	2,00	0,50	1,00	0,0045	235,00	0,06	0,10	113,66	0,057	1,19
	0,292	305	4,20	0,50	0,67	0,0033	252,00	0,05	0,03	186,04	0,044	1,18
	0,238	305	4,20	0,50	0,82	0,0056	437,00	0,04	0,04	217,41	0,052	1,14
	0,198	305	4,20	0,50	0,69	0,0052	562,00	0,04	0,03	190,60	0,045	1,11
	0,266	305	4,20	0,50	0,80	0,0049	419,00	0,05	0,04	215,88	0,051	1,17
	0,463	305	4,20	0,50	0,57	0,0015	37,00	0,07	0,02	143,59	0,034	1,13
	0,485	305	4,20	0,50	0,52	0,0012	15,00	0,07	0,01	130,48	0,031	1,11
	0,349	305	4,20	0,50	0,69	0,0028	207,00	0,06	0,03	183,19	0,044	1,19
	0,273	305	4,20	0,50	0,83	0,0052	542,00	0,05	0,04	224,58	0,053	1,17
	0,179	305	4,20	0,50	0,69	0,0055	586,00	0,03	0,03	186,80	0,044	1,10
	0,364	305	4,20	0,50	1,00	0,0046	313,00	0,06	0,05	239,11	0,057	1,19
	0,292	305	5,70	0,50	0,67	0,0033	254,00	0,05	0,02	250,58	0,044	1,18
	0,241	305	5,70	0,50	0,81	0,0056	662,00	0,04	0,03	296,86	0,052	1,15
	0,330	305	5,70	0,50	0,85	0,0043	366,00	0,06	0,03	305,20	0,054	1,19
	0,195	305	5,70	0,50	0,71	0,0052	617,00	0,04	0,02	257,50	0,045	1,11
	0,267	305	5,70	0,50	0,80	0,0049	537,00	0,05	0,03	293,62	0,052	1,17
	0,462	305	5,70	0,50	0,57	0,0015	31,00	0,07	0,01	194,80	0,034	1,13
	0,179	305	5,70	0,50	0,69	0,0055	745,00	0,03	0,02	254,49	0,045	1,10
	0,303	305	5,70	0,50	0,97	0,0053	443,00	0,05	0,04	324,28	0,057	1,19
	0,332	305	8,30	0,50	0,84	0,0043	516,00	0,06	0,02	445,66	0,054	1,19
	0,199	305	8,30	0,50	0,69	0,0052	867,00	0,04	0,02	379,16	0,046	1,12
	0,270	305	8,30	0,50	0,79	0,0049	705,00	0,05	0,02	429,64	0,052	1,17
	0,463	305	8,30	0,50	0,57	0,0014	30,00	0,07	0,01	282,69	0,034	1,13
	0,275	305	8,30	0,50	0,82	0,0052	765,00	0,05	0,02	445,08	0,054	1,17
	0,181	305	8,30	0,50	0,68	0,0055	923,00	0,03	0,01	371,64	0,045	1,10
	0,308	305	8,30	0,50	0,95	0,0054	837,00	0,05	0,02	480,52	0,058	1,19
	0,372	305	8,30	0,50	0,97	0,0046	583,00	0,06	0,02	477,63	0,058	1,19
	0,677	305	0,97	0,50	0,41	0,0007	1,00	0,09	0,04	24,17	0,025	1,03
	0,534	305	0,97	0,50	0,62	0,0014	29,00	0,08	0,08	33,55	0,035	1,08
	0,611	305	0,97	0,50	0,71	0,0016	30,00	0,09	0,09	35,82	0,037	1,04
	0,563	305	0,97	0,50	0,51	0,0010	9,00	0,08	0,06	28,51	0,029	1,07
	0,627	305	0,97	0,50	0,56	0,0011	16,00	0,09	0,06	30,41	0,031	1,04
	0,723	305	0,97	0,50	0,55	0,0010	11,00	0,09	0,06	28,86	0,030	1,01
	0,771	305	0,97	0,50	0,49	0,0008	5,00	0,09	0,05	25,81	0,027	1,01
	0,680	305	2,00	0,50	0,41	0,0007	2,00	0,09	0,02	49,84	0,025	1,02
	0,535	305	2,00	0,50	0,61	0,0014	32,00	0,08	0,04	69,21	0,035	1,08

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,611	305	2,00	0,50	0,71	0,0016	36,00	0,09	0,04	74,64	0,037	1,04
	0,561	305	2,00	0,50	0,52	0,0010	10,00	0,08	0,03	59,20	0,030	1,07
	0,628	305	2,00	0,50	0,56	0,0011	14,00	0,09	0,03	61,31	0,031	1,04
	0,724	305	2,00	0,50	0,55	0,0010	14,00	0,09	0,03	58,89	0,029	1,01
	0,772	305	2,00	0,50	0,49	0,0008	7,00	0,09	0,02	53,53	0,027	1,01
	0,530	305	2,00	0,50	0,74	0,0020	39,00	0,08	0,05	81,71	0,041	1,08
	0,535	305	4,20	0,50	0,61	0,0015	45,00	0,08	0,02	148,28	0,035	1,08
	0,619	305	4,20	0,50	0,69	0,0015	64,00	0,09	0,02	153,94	0,037	1,04
	0,564	305	4,20	0,50	0,51	0,0010	12,00	0,08	0,01	124,64	0,030	1,07
	0,539	305	4,20	0,50	0,72	0,0018	84,00	0,08	0,02	162,88	0,039	1,08
	0,628	305	4,20	0,50	0,56	0,0011	16,00	0,09	0,01	131,55	0,031	1,04
	0,526	305	4,20	0,50	0,74	0,0023	52,00	0,08	0,03	183,94	0,044	1,09
	0,619	305	5,70	0,50	0,69	0,0016	71,00	0,09	0,02	212,91	0,037	1,04
	0,541	305	5,70	0,50	0,71	0,0018	93,00	0,08	0,02	219,97	0,039	1,08
	0,600	305	5,70	0,50	0,64	0,0014	54,00	0,08	0,01	195,75	0,034	1,05
	0,628	305	5,70	0,50	0,56	0,0011	19,00	0,09	0,01	178,75	0,031	1,04
	0,524	305	5,70	0,50	0,75	0,0021	54,00	0,08	0,02	238,76	0,042	1,09
	0,516	305	5,70	0,50	0,81	0,0024	109,00	0,08	0,02	253,42	0,044	1,09
	0,612	305	8,30	0,50	0,70	0,0016	69,00	0,09	0,01	308,90	0,037	1,04
	0,540	305	8,30	0,50	0,71	0,0018	106,00	0,08	0,01	327,90	0,040	1,08
	0,593	305	8,30	0,50	0,65	0,0014	55,00	0,08	0,01	290,46	0,035	1,05
	0,526	305	8,30	0,50	0,74	0,0023	50,00	0,08	0,01	363,83	0,044	1,09
	0,518	305	8,30	0,50	0,81	0,0025	158,00	0,08	0,02	375,38	0,045	1,09
AB GHANI - 305mm, rugosidade equivalente a 1,34	0,243	305	2,00	1,00	0,71	0,0056	145,00	0,04	0,08	104,80	0,052	1,15
	0,310	305	2,00	1,00	0,73	0,0043	109,00	0,05	0,08	104,33	0,052	1,19
	0,411	305	2,00	1,00	0,73	0,0033	70,00	0,07	0,08	99,97	0,050	1,17
	0,510	305	2,00	1,00	0,83	0,0030	57,00	0,08	0,08	99,70	0,050	1,10
	0,245	305	4,20	1,00	0,71	0,0056	246,00	0,04	0,04	220,42	0,052	1,15
	0,311	305	4,20	1,00	0,73	0,0043	190,00	0,05	0,04	219,44	0,052	1,19
	0,410	305	4,20	1,00	0,74	0,0033	76,00	0,07	0,04	210,21	0,050	1,17
	0,354	305	4,20	1,00	0,82	0,0047	215,00	0,06	0,05	241,07	0,057	1,19
	0,244	305	5,70	1,00	0,71	0,0056	278,00	0,04	0,03	299,16	0,052	1,15
	0,310	305	5,70	1,00	0,73	0,0044	201,00	0,05	0,03	299,22	0,052	1,19
	0,410	305	5,70	1,00	0,74	0,0033	138,00	0,07	0,03	285,59	0,050	1,17
	0,510	305	5,70	1,00	0,83	0,0029	119,00	0,08	0,03	281,70	0,049	1,10
	0,353	305	5,70	1,00	0,83	0,0048	199,00	0,06	0,04	327,71	0,057	1,19
	0,246	305	8,30	1,00	0,70	0,0056	323,00	0,04	0,02	437,45	0,053	1,15
	0,314	305	8,30	1,00	0,72	0,0044	267,00	0,05	0,02	437,07	0,053	1,19
	0,411	305	8,30	1,00	0,73	0,0033	200,00	0,07	0,02	419,08	0,050	1,17
	0,358	305	8,30	1,00	0,81	0,0047	403,00	0,06	0,02	477,52	0,058	1,19
	0,652	305	2,00	1,00	0,58	0,0015	9,00	0,09	0,04	73,37	0,037	1,03
	0,764	305	2,00	1,00	0,57	0,0013	8,00	0,09	0,04	68,83	0,034	1,01

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,549	305	2,00	1,00	0,68	0,0022	27,00	0,08	0,06	85,77	0,043	1,07
	0,713	305	2,00	1,00	0,61	0,0015	11,00	0,09	0,04	73,39	0,037	1,02
	0,548	305	4,20	1,00	0,68	0,0021	46,00	0,08	0,03	178,49	0,042	1,07
	0,606	305	4,20	1,00	0,67	0,0019	58,00	0,09	0,02	172,48	0,041	1,05
	0,666	305	4,20	1,00	0,67	0,0019	27,00	0,09	0,03	173,92	0,041	1,03
	0,711	305	4,20	1,00	0,61	0,0016	18,00	0,09	0,02	158,44	0,038	1,02
	0,652	305	5,70	1,00	0,58	0,0014	7,00	0,09	0,01	203,71	0,036	1,03
	0,548	305	5,70	1,00	0,68	0,0022	61,00	0,08	0,02	247,24	0,043	1,07
	0,666	305	5,70	1,00	0,67	0,0019	24,00	0,09	0,02	233,12	0,041	1,03
	0,611	305	8,30	1,00	0,66	0,0020	43,00	0,09	0,01	345,48	0,042	1,04
	0,666	305	8,30	1,00	0,67	0,0019	26,00	0,09	0,01	339,46	0,041	1,03
MAYERLE (1991)	0,184	152	0,50	0,35	0,43	0,0039	22,60	0,02	0,09	13,34	0,027	1,11
	0,309	152	0,50	0,35	0,50	0,0028	21,70	0,03	0,11	14,73	0,029	1,19
	0,414	152	0,50	0,35	0,58	0,0028	20,40	0,03	0,13	16,15	0,032	1,17
	0,250	152	0,50	0,35	0,59	0,0046	93,90	0,02	0,15	17,40	0,035	1,16
	0,237	152	0,50	0,35	0,60	0,0055	141,40	0,02	0,16	18,06	0,036	1,14
	0,336	152	0,50	0,35	0,61	0,0038	67,70	0,03	0,16	18,05	0,036	1,20
	0,546	152	0,50	0,35	0,66	0,0028	22,00	0,04	0,14	17,06	0,034	1,08
	0,316	152	0,50	0,35	0,68	0,0046	130,80	0,03	0,18	19,05	0,038	1,19
	0,487	152	0,50	0,35	0,75	0,0038	38,50	0,04	0,19	19,68	0,039	1,11
	0,414	152	0,50	0,35	0,85	0,0055	102,10	0,04	0,28	23,74	0,047	1,17
	0,724	152	0,50	0,35	1,10	0,0054	107,90	0,05	0,30	24,54	0,049	1,01
	0,737	152	0,50	0,35	1,10	0,0052	104,10	0,05	0,29	24,43	0,049	1,01
	0,211	152	1,05	0,35	0,38	0,0027	35,60	0,02	0,03	24,96	0,024	1,12
	0,191	152	1,05	0,35	0,42	0,0039	78,10	0,02	0,04	28,84	0,027	1,11
	0,303	152	1,05	0,35	0,44	0,0021	48,20	0,03	0,04	26,43	0,025	1,19
	0,309	152	1,05	0,35	0,49	0,0027	65,80	0,03	0,05	30,33	0,029	1,19
	0,375	152	1,05	0,35	0,50	0,0022	61,60	0,03	0,05	29,56	0,028	1,18
	0,421	152	1,05	0,35	0,57	0,0028	95,30	0,03	0,06	34,48	0,033	1,16
	0,257	152	1,05	0,35	0,58	0,0047	191,30	0,02	0,07	36,72	0,035	1,16
	0,237	152	1,05	0,35	0,61	0,0055	325,70	0,02	0,08	37,82	0,036	1,14
	0,349	152	1,05	0,35	0,63	0,0038	136,80	0,03	0,08	37,80	0,036	1,19
	0,553	152	1,05	0,35	0,66	0,0028	137,00	0,04	0,07	35,94	0,034	1,07
	0,322	152	1,05	0,35	0,67	0,0046	270,90	0,03	0,09	40,15	0,038	1,19
	0,664	152	1,05	0,35	0,70	0,0025	69,80	0,04	0,07	34,91	0,033	1,03
	0,507	152	1,05	0,35	0,75	0,0039	176,50	0,04	0,09	41,71	0,040	1,10
	0,612	152	1,05	0,35	0,84	0,0039	157,20	0,04	0,10	43,53	0,041	1,04
	0,421	152	1,05	0,35	0,85	0,0055	401,50	0,03	0,12	48,28	0,046	1,16
	0,763	152	1,05	0,35	0,92	0,0039	160,90	0,05	0,11	44,45	0,042	1,01
	0,572	152	1,05	0,35	1,03	0,0054	319,90	0,04	0,13	50,27	0,048	1,06
	0,724	152	1,05	0,35	1,09	0,0054	328,10	0,05	0,14	51,71	0,049	1,01
	0,211	152	1,95	0,35	0,38	0,0027	71,50	0,02	0,02	46,28	0,024	1,12

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,191	152	1,95	0,35	0,42	0,0038	174,70	0,02	0,02	51,98	0,027	1,11
	0,309	152	1,95	0,35	0,43	0,0022	59,60	0,03	0,02	50,92	0,026	1,19
	0,382	152	1,95	0,35	0,49	0,0022	68,00	0,03	0,03	54,83	0,028	1,18
	0,309	152	1,95	0,35	0,49	0,0028	77,00	0,03	0,03	57,45	0,029	1,19
	0,408	152	1,95	0,35	0,58	0,0028	116,50	0,03	0,03	63,20	0,032	1,17
	0,257	152	1,95	0,35	0,58	0,0046	247,50	0,02	0,04	68,09	0,035	1,16
	0,237	152	1,95	0,35	0,60	0,0055	445,60	0,02	0,04	72,15	0,037	1,14
	0,355	152	1,95	0,35	0,62	0,0038	178,70	0,03	0,04	71,46	0,037	1,19
	0,553	152	1,95	0,35	0,67	0,0028	90,40	0,04	0,04	66,80	0,034	1,07
	0,316	152	1,95	0,35	0,67	0,0046	344,40	0,03	0,05	74,35	0,038	1,19
	0,671	152	1,95	0,35	0,69	0,0025	77,20	0,04	0,04	64,91	0,033	1,03
	0,507	152	1,95	0,35	0,75	0,0039	154,10	0,04	0,05	77,41	0,040	1,10
	0,605	152	1,95	0,35	0,85	0,0039	176,10	0,04	0,05	79,70	0,041	1,05
	0,428	152	1,95	0,35	0,86	0,0054	353,70	0,03	0,07	89,19	0,046	1,16
	0,757	152	1,95	0,35	0,92	0,0039	167,60	0,05	0,06	82,41	0,042	1,01
	0,566	152	1,95	0,35	1,01	0,0054	310,10	0,04	0,07	93,59	0,048	1,07
	0,711	152	1,95	0,35	1,06	0,0055	308,40	0,05	0,08	96,64	0,050	1,02
	0,349	152	2,56	0,35	0,37	0,0014	42,80	0,03	0,01	54,92	0,021	1,19
	0,224	152	2,56	0,35	0,37	0,0027	178,80	0,02	0,01	62,32	0,024	1,13
	0,191	152	2,56	0,35	0,42	0,0038	420,70	0,02	0,02	70,18	0,027	1,11
	0,303	152	2,56	0,35	0,43	0,0021	112,00	0,03	0,02	64,76	0,025	1,19
	0,316	152	2,56	0,35	0,43	0,0021	149,10	0,03	0,02	66,18	0,026	1,19
	0,309	152	2,56	0,35	0,49	0,0027	206,20	0,03	0,02	75,15	0,029	1,19
	0,382	152	2,56	0,35	0,50	0,0022	167,10	0,03	0,02	71,41	0,028	1,18
	0,414	152	2,56	0,35	0,57	0,0028	271,00	0,03	0,03	83,69	0,033	1,17
	0,263	152	2,56	0,35	0,58	0,0047	639,50	0,02	0,03	89,62	0,035	1,17
	0,237	152	2,56	0,35	0,61	0,0055	673,40	0,02	0,03	92,13	0,036	1,14
	0,349	152	2,56	0,35	0,62	0,0038	380,30	0,03	0,03	92,15	0,036	1,19
	0,553	152	2,56	0,35	0,67	0,0028	271,80	0,04	0,03	87,15	0,034	1,07
	0,322	152	2,56	0,35	0,67	0,0046	638,70	0,03	0,04	99,42	0,039	1,19
	0,658	152	2,56	0,35	0,70	0,0024	175,30	0,04	0,03	83,45	0,033	1,03
	0,507	152	2,56	0,35	0,75	0,0038	367,00	0,04	0,04	101,55	0,040	1,10
	0,612	152	2,56	0,35	0,84	0,0039	333,90	0,04	0,04	106,40	0,042	1,04
	0,428	152	2,56	0,35	0,83	0,0054	935,10	0,03	0,05	116,33	0,045	1,16
	0,770	152	2,56	0,35	0,90	0,0040	326,10	0,05	0,04	109,01	0,043	1,01
	0,579	152	2,56	0,35	0,98	0,0053	633,50	0,04	0,05	122,11	0,048	1,06
	0,724	152	2,56	0,35	1,07	0,0054	449,80	0,05	0,06	127,17	0,050	1,01
	0,217	152	5,22	0,35	0,38	0,0027	115,50	0,02	0,01	127,14	0,024	1,13
	0,191	152	5,22	0,35	0,40	0,0039	341,60	0,02	0,01	143,37	0,027	1,11
	0,309	152	5,22	0,35	0,42	0,0021	132,50	0,03	0,01	135,52	0,026	1,19
	0,520	152	5,22	0,35	0,49	0,0017	87,30	0,04	0,01	137,35	0,026	1,09
	0,388	152	5,22	0,35	0,48	0,0022	175,90	0,03	0,01	148,96	0,029	1,18

Autor	y/D	Tubo	d50	k	V (m/s)	So	Cv	Rh (m)	adm. Bed Shear Stress	Re*	u*	epi
	0,309	152	5,22	0,35	0,49	0,0027	165,80	0,03	0,01	153,38	0,029	1,19
	0,421	152	5,22	0,35	0,57	0,0027	249,30	0,03	0,01	169,57	0,032	1,16
	0,230	152	5,22	0,35	0,58	0,0056	766,20	0,02	0,02	189,28	0,036	1,14
	0,263	152	5,22	0,35	0,56	0,0047	679,00	0,02	0,01	183,13	0,035	1,17
	0,342	152	5,22	0,35	0,60	0,0039	389,10	0,03	0,02	188,83	0,036	1,19
	0,553	152	5,22	0,35	0,66	0,0027	238,60	0,04	0,01	177,38	0,034	1,07
	0,658	152	5,22	0,35	0,67	0,0025	165,90	0,04	0,01	173,86	0,033	1,03
	0,322	152	5,22	0,35	0,66	0,0046	674,10	0,03	0,02	203,72	0,039	1,19
	0,500	152	5,22	0,35	0,74	0,0039	359,70	0,04	0,02	208,25	0,040	1,10
	0,618	152	5,22	0,35	0,80	0,0039	344,80	0,04	0,02	216,51	0,041	1,04
	0,428	152	5,22	0,35	0,87	0,0055	648,90	0,03	0,03	240,94	0,046	1,16
	0,586	152	5,22	0,35	0,98	0,0055	484,80	0,04	0,03	255,74	0,049	1,06
	0,316	152	8,74	0,35	0,48	0,0027	174,20	0,03	0,01	256,48	0,029	1,19
	0,309	152	8,74	0,35	0,50	0,0027	188,70	0,03	0,01	254,93	0,029	1,19
	0,428	152	8,74	0,35	0,54	0,0027	415,40	0,03	0,01	284,22	0,033	1,16
	0,414	152	8,74	0,35	0,56	0,0027	271,80	0,03	0,01	283,89	0,032	1,17
	0,270	152	8,74	0,35	0,54	0,0047	1174,00	0,02	0,01	314,50	0,036	1,17
	0,263	152	8,74	0,35	0,56	0,0047	858,30	0,02	0,01	306,45	0,035	1,17
	0,237	152	8,74	0,35	0,59	0,0056	667,00	0,02	0,01	316,24	0,036	1,14
	0,237	152	8,74	0,35	0,59	0,0056	777,90	0,02	0,01	316,10	0,036	1,14
	0,355	152	8,74	0,35	0,60	0,0039	668,50	0,03	0,01	321,52	0,037	1,19
	0,349	152	8,74	0,35	0,61	0,0038	515,80	0,03	0,01	315,84	0,036	1,19
	0,566	152	8,74	0,35	0,65	0,0028	296,40	0,04	0,01	301,39	0,034	1,07
	0,671	152	8,74	0,35	0,66	0,0026	171,40	0,04	0,01	295,27	0,034	1,03
	0,329	152	8,74	0,35	0,64	0,0047	1003,00	0,03	0,01	341,56	0,039	1,19
	0,500	152	8,74	0,35	0,74	0,0039	406,90	0,04	0,01	347,78	0,040	1,10
	0,618	152	8,74	0,35	0,79	0,0039	546,50	0,04	0,01	362,74	0,042	1,04
	0,612	152	8,74	0,35	0,80	0,0039	482,90	0,04	0,01	361,15	0,041	1,04
	0,441	152	8,74	0,35	0,84	0,0055	999,30	0,04	0,02	405,63	0,046	1,14
	0,447	152	8,74	0,35	0,83	0,0055	1275,00	0,04	0,02	406,20	0,046	1,14
	0,803	152	8,74	0,35	0,90	0,0040	421,20	0,05	0,01	370,68	0,042	1,00
	0,586	152	8,74	0,35	0,96	0,0055	844,30	0,04	0,02	426,06	0,049	1,06
	0,763	152	8,74	0,35	1,07	0,0055	635,30	0,05	0,02	438,69	0,050	1,01